



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ELINA HOTTI
OTSONIKÄSITELLYN FARKKUKANKAAN PESUNKESTO

Diplomityö

Tarkastajat: projektitutkija
Taina Kamppuri ja professori Jurkka
Kuusipalo
Tarkastaja ja aihe hyväksytty tiede-
kuntaneuvoston kokouksessa
7.6.2017

TIIVISTELMÄ

HOTTI, ELINA: Otsonikäsitellyn farkkukankaan pesunkesto

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 44 sivua, 9 liitesivua

Kesäkuu 2017

Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: TEVA-tuotantotekniikka

Tarkastajat: projektitutkija Taina Kampuri ja professori Jurkka Kuusipalo

Avainsanat: entsyymaattinen kivipesu, farkku, hankauskestävyys, kulutuskäsittely, otsonivalkaisu, pesunkesto, pyyhkäisyelektronimikroskopia, takaisinvärjäytyminen, vetolujuus, värinmittaus, värin saanto

Farkkua käytetään varsinkin housuissa mutta myös muissa asusteissa. Yleisimmin indigolla tai rikkiväreillä värjätty puuvilla-, hamppu- tai yhä useammin sekotetoimikas on monipuolinen ja kestävä materiaali. Erilaiset vaalennus- ja kulutuskäsittelyt ovat merkittävä osa tuotantoa.

Perinteisesti käsittelyihin on käytetty kivipesua ja erilaisia kemikaaleja. Kivipesusta on pitkälti luovuttu sen aiheuttamien terveyshaittojen ja kuluttavuuden vuoksi ja sen seuraajaksi on esitetty useita vaihtoehtoja. Tämän työn näytteet kivipestiin entsyymaattisesti. Entsyymaattisessa kivipesussa mekaanista kulutusta korvataan entsyymeillä jotka hajottavat selluloosakuitua glukosiksi, minkä seurauksena kankaasta irtaavat pesussa syntyvän kitkan avustamana varsinkin värjäyksessä voimakkaimmin reagoivat kuitujen päät.

Osa näytteistä käsiteltiin edelleen otsonilla, jolla on havaittu olevan tehokkaasti varsinkin aromaattisia hiiliyhdisteitä hajottava ja siksi indigoa vaalentava vaikutus. Sen on aiemmin todettu myös lyhentävän tuotantoketjua ja vähentävän tarvittavan veden ja kemikaalien määrää.

Tässä diplomityössä tutkittiin otsonipestyn farkkukankaan pesunkestoja. Näytteet viimeistelykäsiteltiin M.A.S.I Companyn tuotantolaitoksessa Kempeleellä ja työtestauksineen tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston materiaaliopin laitokselle. Otsonin vaikutusta farkkuun arvioitiin kymmenen pesusyklin ajan värin, hankauksen keston, lujuuden ja pinnan elektronimikroskopian avulla. Lisäksi arvioitiin otsonin vaikutus taskupussin väriin.

Tulokset osoittivat, ettei otsonipesulla ollut merkittävää vaikutusta farkkun väri- ja lujuusominaisuuksien kokonaismuutosten suuruuteen entsyymaattisesti kivipestyyn näytteeseen verrattuna. Kategorisesti havaittiin, että ensimmäisen pesun vaikutus ja pesutestauksen kokonaisvaikutus olivat pienempiä otsonipestyihin näytteisiin. Tämä tarkoittaa loppukäyttäjän näkökulmasta stabiilimpaa tuotetta.

Pestyjen farkkujen murtolujuus heikkeni merkittävästi pesujen aikana. Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollisuutta selvittää millä keinoin murtolujuuden heikkenemistä voitaisiin ehkäistä. Heikkenemisen suuruusluokka ei ollut farkulle epätyypillinen, joten tutkimuksessa saatiin haluttu tieto otsonin vaikutuksesta.

ABSTRACT

HOTTI, ELINA: Washing Durability of Ozone Treated Denim

Master of Science Thesis, 44 pages, 9 Appendix pages

June 2017

Master's Degree Programme in Material Technology

Major: Textile and Clothing Production Technology

Examiner: Project Researcher Taina Kamppuri and Professor Jurkka Kuusipalo

Keywords: backstaining, biostoning, color measuring, color yield, denim, finishing treatments, ozone washing, rubbing fastness, scanning electron microscopy, tensile strength, washing trial

Denim is widely used in trousers but also in other types of apparel. Cotton, hemp or more often a blended twill ring-dyed with indigo or VAT colors is a versatile and durable material. Different bleach and wear treatments are important part of production.

Traditionally these have been done by sandblasting and various chemicals. Sandblasting has widely been banned because of its health hazards and strain on both fabric and machinery and several alternatives have been introduced. Samples for this paper were biostoned. In biostoning the mechanic stress has been partly replaced by enzymes that break cellulose fibers into glucose. Friction loosens especially the ends of the fibers, which have been affected the most by dyeing.

Part of samples were further treated with ozone which has been found to break especially aromatic molecules and thus have a bleaching effect on indigo. It has also been found to shorten the production cycle and to decrease water and chemical consumption.

This thesis studied the washing durability of ozone treated denim. Samples were finished in M.A.S.I Company's production site in Kempele. Thesis and washing trials were done for Department of Materials Science, Tampere University of Technology. Ozone's effect on denim was studied for ten washing cycles. Samples were tested for color, rubbing fastness, tensile strength and scanned with an electron microscope for surface change analysis. The effect on pockets' color was also examined.

Results showed that ozone wash had no significant total effect on denims overall color and strength in comparison to biostoned samples. Categorically the effect of the first wash and the total effect of ten washing cycles were smaller on ozone washed samples. For the end user this means that the product is more stable.

Breaking force weakened significantly during trials. This study did not have means to examine further how this could be prevented. The size of these changes was not atypical for jeans so ozone's affect could not be determined.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston materiaaliopin laitokselle. Haluan kiittää testausvaiheessa apuna ollutta laitoshenkilökuntaa, käyttöinsinöörejä Merja Ritolaa ja Maija Järventaustaa sekä laboratorioteknikko Teija Jokea. Ilman heidän asiantuntevia ohjeitaan käytännön osuus olisi ollut huomattavasti suppeampi.

Suurkiitokset kannustuksesta opintojen viimeistelyyn, kärsivällisestä ohjauksesta ja hyvistä neuvoista kuuluu diplomityöni ohjaajalle, projektitutkija Taina Kamppurille.

Tampereella, 16.7.2017

Elina Hotti

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	FARKKUKANGAS.....	3
2.1	Materiaalit	3
2.2	Rakenne.....	4
2.3	Värjäys	5
2.4	Takaisinvärjäytyminen	5
2.5	Perinteiset kulutuskäsittelyt	6
2.5.1	Kivipesu	6
2.5.2	Kemiallinen valkaisu.....	7
2.5.3	Entsyymaattinen kivipesu	8
2.5.4	Hiekkapuhallus.....	8
2.6	Otsonivalkaisu.....	9
2.6.1	Laitteistot	12
2.6.2	Märkämenetelmä.....	12
2.6.3	Kuivamenetelmä	13
2.6.4	Ruiskuttaminen	14
2.7	Laserkäsittely	15
3.	MATERIAALIT JA MENETELMÄT	16
3.1	Materiaalit	16
3.2	Viimeistelykäsittely M.A.S.Illa.....	16
3.3	Koejärjestelyt	18
3.4	Pesu	20
3.5	Värinmittaus	22
3.5.1	CIELAB -väriavaruus	23
3.5.2	Värin saanto K/S	24
3.6	Pyyhkäisyelektronimikroskopia.....	24
3.7	Hankauskestävyys	24
3.8	Vetolujuus	25
4.	MITTAUSTULOKSET	26
4.1	Värinmittaus	26
4.2	Hankauskestävyys	27
4.3	Neliömassa	28
4.4	Vetolujuus	29
5.	TULOSTEN KÄSITTELY JA TULKINTA	30
5.1	Värinmittaus	30
5.2	Hankauskestävyys	38
5.3	Neliömassa	39
5.4	Vetolujuus	39
5.5	Pyyhkäisyelektronimikroskopia.....	41
6.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43

LÄHTEET.....	45
--------------	----

LIITE A: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS KÄSITTELEMÄTÖN FARKKU

LIITE B: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS ENTSYymiPESTY FARKKU 0 PESUA

LIITE C: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS ENTSYymiPESTY FARKKU 10 PESUA

LIITE D: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS OTSONIPESTY FARKKU 0 PESUA

LIITE E: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS OTSONIPESTY FARKKU 10 PESUA

LIITE F: KUIVAHANKAUS ENTSYymiPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

LIITE G: MÄRKÄHANKAUS ENTSYymiPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

LIITE H: KUIVAHANKAUS OTSONIPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

LIITE I: MÄRKÄHANKAUS OTSONIPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

KUVALUETTELO

Kuva 1.	3:1-toimikas[4]	4
Kuva 2.	Indigomolekyylin hajoaminen otsonikäsittelyssä [20]	10
Kuva 3.	Esimerkki perinteisestä kulutus- ja pesuprosessista [21]	11
Kuva 4.	Esimerkki otsoniprosessista [21]	11
Kuva 5.	Tietokoneohjattava ruiskutuslaitteisto otsonivalkaisuun [26]	14
Kuva 6.	Yhdistetty esikutistus ja entsyymaattinen kivipesu.[32]	17
Kuva 7.	Yhdistetty esikutistus, entsyymaattinen kivipesu ja otsonipesu.[32]	18
Kuva 8.	Koesuunnitelma farkuille.....	19
Kuva 9.	Koesuunnitelma taskupusseille.....	19
Kuva 10.	$L^*a^*b^*$ -värinmääritysjärjestelmän kromaattisuusdiagrammi [34].....	23
Kuva 11.	Käsitlemättömän farkun vertailu entsyymi- ja otsonipestyihin näytteisiin 10 pesusyklin jälkeen	31
Kuva 12.	Entsyymi- ja otsonipesty taskupussi 10 pesusyklin jälkeen	32
Kuva 13.	Entsyymipestyn farkkukankaan reflektanssi	32
Kuva 14.	Entsyymipestyn farkkukankaan värin saanto K/S.....	33
Kuva 15.	Otsonipestyn farkkukankaan reflektanssi	34
Kuva 16.	Otsonipestyn farkkukankaan värin saanto K/S.....	34
Kuva 17.	Otsonipestyn ja entsyymipestyn farkun värin saanto K/S 10 pesun jälkeen.....	35
Kuva 18.	Entsyymipestyn taskupussin reflektanssi	36
Kuva 19.	Entsyymipestyn taskupussin värin saanto K/S.....	36
Kuva 20.	Otsonipestyn taskupussin reflektanssi	37
Kuva 21.	Otsonipestyn taskupussin värin saanto K/S.....	37
Kuva 22.	Otsonipestyn ja entsyymipestyn taskupussin värin saanto K/S 10 pesun jälkeen	38
Kuva 23.	Käsitlemättömän farkun SEM-vertailu entsyymi- ja otsonipestyihin näytteisiin 10 pesusyklin jälkeen 3000x suurennoksella.....	42

LYHENTEET JA MERKINNÄT

a*	kromaattisen asteikon punainen-vihreä akselin komponentti
b*	kromaattisen asteikon keltainen-sininen akselin komponentti
E	pelkistymispotentiaali
K	Kubelka-Munk absorbtiokerroin
L*	valoisuus
R	reflektanssi
S	Kubelka-Munk sirontakerroin
ΔE^*	väriero CIELAB-väriavaruudessa
λ	aallonpituus
SEM	pyyhkäisyelektroimikroskopia, eng. <i>scanning electron microscopy</i>

.

1. JOHDANTO

Farkut ovat housuina pitäneet pintansa vaatetuksessa jo yli sadan vuoden ajan ja farkkua on kankaana valmistettu vielä pidempään. Sen luonne syntyy loimen ja kuteen värierosta; loimi on tyypillisesti sininen ja kude valkoinen tai käsittelemätön. Toimikassidokseen yhdistettynä perinteisesti puuvillainen kudος on eläväpintainen, kestävä ja muuntautumiskykyinen materiaali. Pehmeämmät sekoitteet sekä uudet valmistus- ja käsittelymenetelmät ovat lisänneet farkun käyttöä myös muussa vaatetuksessa.

Tuotekehitys keskittyi pitkään erilaisten niittien, vetoketjujen, nappien ja muiden tuotteiden kestävyyttä ja käytettäviä lisäävien metalliosien kehitykseen. Kun alkuperäiset työvaatteet omaksuttiin vapaa-ajan käyttöön, kehityksen painopiste siirtyi käyttömukavuuteen ja trendikkyyteen.

Erilaisia kulutuskäsittelyjä on tehty 1960-luvun lopulta ja ensimmäisten menetelmien kuten kivipesun ja kemiallisten valkaisujen on sittemmin todettu aiheuttavan haittaa niin ympäristölle, työntekijöille kuin farkun kestävyydelle. Turvallisuuden takaamisen lisäksi jatkuva kilpailu kannustaa etsimään tuotantoa tehostavia menetelmiä.

Kulutuskäsittelyillä pyritään yksilöllisiin lopputuloksiin. Ulkonäöllisesti voidaan tavoitella saman tyyppisiä efektejä joita farkku muodostaisi luonnostaan pitkäaikaisessa käytössä. NykYTEKNIKALLA voidaan luoda myös graafisempia kuvioita. Korvaavia menetelmiä on tutkittu ja kehitetty useiden tutkijoiden ja valmistajien toimesta. Tässä diplomityössä keskitytään yhteen lupaavimmista menetelmistä, otsonivalkaisuun.

Diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston materiaaliopin laitokselle. Työn tarkoituksena oli tutkia otsonivalkaisun vaikutusta farkkukankaan pesunkestoon ja asiakkaiden pesukokemuksiin. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti väriominaisuuksiin ja farkun lujuusominaisuuksien muutoksiin.

Otsonin on todettu olevan verrattain turvallinen ja ympäristöystävällinen sen vaikutukset varsinkin kemikaalien ja veden tarpeeseen tuotannossa ovat lupaavia. Sen on aiemmissa tutkimuksissa havaittu myös vähentävän farkulle tyypillistä takaisinvärjäytymistä.

Farkkuasusteisiin käytetään enenevissä määrin ohuempia kankaita ja esimerkiksi elastaanisekoitteita istuvuuden ja käyttömukavuuden lisäämiseksi. Näillä materiaaleilla, varsinkin yhdessä mekaanisten ja kemiallisten kulutuskäsittelyjen kanssa, on niin sanottuja raakafarkkuja heikompi kulutuskestävyys. Samaan aikaan asiakkaat odottavat farkuiltaan muita asusteita pidempää käyttöikää.

Pesut vaikuttavat farkkujen lujuuteen ja valmistuksen huuhteluiden lisäksi kotipesuilla on huomattavia ympäristövaikutuksia. Muun muassa Levi's on pyrkinyt ulottamaan ympäristöarvoja tuotannon ulkopuolelle ja kampanjoinut harvempien pesujen puolesta. Koska useimmat käyttäjät pesevät edelleen farkkujaan verrattain usein, asiakastytyvyyden kannalta on tärkeää, että tuotteet ovat mahdollisimman stabiileja.

Luvussa 2 esitellään farkkukankaan ominaisuudet sekä erilaiset kulutuskäsittelyt. Osio on tehty kirjallisuusselvityksenä ja sen tavoite on luoda käsitys farkun ominaisuuksista, perinteisesti käytetyistä kulutusmenetelmistä ja otsonivalkaisusta potentiaalisena korvaavana menetelmänä.

Luvuissa 3-5 keskitytään pesutestaukseen, joka tehtiin M.A.S.I Companyn tuotantolaitoksessa viimeistelykäsittelyle farkuille kaupallisesti saatavilla olevalle farkkukan-kaalle. Luvussa 3 määritellään ensin testimateriaalin ominaisuudet ja näytteiden viimeis- telykäsittelyt. Näytteistä edetään koejärjestelyihin ja suunniteltuihin mittausmenetelmiin.

Pesujärjestelyissä jäljiteltiin kotipesua. Näytteet pestiin ja kuivattiin standardimenetel- millä kymmenen sykliä. Värimittaukset tehtiin spektrofotometrillä. Värinkesto- a testat- tiin hankauslaitteistolla kuivana ja märkänä. Näytteiden murtovoima ja murtovenymä määritettiin liuskamenetelmällä vetolaitteistolla.

Tutkimus perustuu pääosin mittaustuloksiin ja niistä johdettujen tunnuslukujen arvioin- tiin. Tutkimuksessa käytettiin lisäksi hankausnäytteiden silmämääräistä arvostelua han- kauskestävyyden arvioinnissa ja pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvien arviointia kui- tujen pinnanmuutosten arvioimiseksi.

Mittaustulokset esitellään luvussa 4. Värin, hankauskestävyyden ja vetolujuuden mittaus- tulokset sekä neliömassa ja näytteiden pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvat käsitellään luvun 5 tulosten käsittelyssä ja tulkinnassa. Viimeinen luku kokoaa tutkimustulokset yh- teen ja arvioi otsonipesun vaikutusta asiakkaan pesukokemukseen.

2. FARKKUKANGAS

Tässä luvussa käsitellään farkkua materiaalina ja esitellään sen valkaisuun ja kulutusefek-teihin käytettäviä menetelmiä. Kulutuskäsittelyt on käsitelty siten, että luvussa 2.5 esitel-lään perinteisiä kulutuskäsittelyjä, joista useimmille etsitään ympäristöystävällisempiä ja kustannustehokkaampia vaihtoehtoja. Luvussa 2.6 kuvataan niiden korvaajaksi esitetyn otsonivalkaisun menetelmiä ja luvussa 2.7 laserkäsittelyn mahdollisuuksia.

2.1 Materiaalit

Farkkukangas on perinteisesti kudottu rengaskehrätystä puuvillalangasta. Tekniikan ke-hittyessä ja tuotantomäärien kasvaessa suurin osa käytetyistä langoista on nykyään root-torikehrättyjä.

Puuvillaan voidaan sekoittaa muita kuituja joko parantamaan kankaan tuntua ja palautu-mista tai laskemaan valmistuksen kuluja. Suurin osa miesten farkuista valmistetaan edel-leen kokonaisuudessaan puuvillasta mutta varsinkin ihonmukaisten mallien myötä nais-ten housuihin on päädytty sekoittamaan elastaanikuituja.

Jo kahden prosentin elastaaniosuus parantaa huomattavasti mittapysyvyyttä ja kankaan joustoa ja istuvuutta. Samalla valon- ja kulutuksenkesto pienenee monestakin syystä. Elastaani on herkkä ultraviolettisäteilylle, lialle, lämmölle ja useille kemikaaleille. Se ei kestä yhtä kuumia pesulämpötiloja kuin puhdas puuvilla ja huuhteluaineet haurastuttavat sitä nopeasti. Jousto-ominaisuutensa menettäneet elastaanikuitujen päät nousevat kulu-tuksessa herkästi kudoksen pintaan ja muodostavat pillingiä. Mahdollisimman joustavan lopputuloksen tavoittelussa käytetään myös lähtökohtaisesti ohuempia ja siten helpom-min kuluvia kankaita. Elastaania voidaan vahvistaa esimerkiksi pienellä määrällä polyes-teria tai polyamidia.

Polymeeri- ja selluloosamuuntokuiduista käytetään yleisimmin polyesteriä, viskoosia tai modaalia. Varsinkin Aasian tulvien aiheuttama puuvillan hintapiikki 2011, jolloin hinnat nousivat korkeimmalle sitten Amerikan sisällissodan, sai valmistajat turvautumaan edul-lisempiin materiaaleihin. [1] Asiakkaat ovat suhtautuneet sekoitteisiin laajalti negatiivi-sesti silloin, kun tuotteen sisältö ilmoitetaan kuitusekoitteena pakkausmerkinnöissä ilman tarkennusta. Poikkeuksena ovat erikseen markkinoitavat kierrätetyt materiaalit ja ekolo-gisemmiksi mielletävät viskoosiraaka-aineet.

Ympäristönäkökulmat ovat saaneet valmistajat kokeilemaan myös nopeammin kasvavia ja muuten puuvillaa ekologisempia luonnonkuituja kuten bambua, sokeriruokoa ja hamp-pua. Näistä bambua ja sokeriruokoa käytetään viskoosin raaka-aineena. Bambua käyte-tään pehmeiden ja heikon mittapitävyyden vuoksi lähinnä lastenvaatteissa, joissa sen

tuntu ja ihoystävällisyys ajavat kestävyuden ohitse. Sokeriruokoviskoosi on kovempaa ja sitä voidaan käyttää jopa 1:1 suhteella puuvillan seassa. Raakamateriaalina käytetään sokerintuotannon jäännösmassaa, josta suuri osa käsitellään edelleen jätteenä. [2]

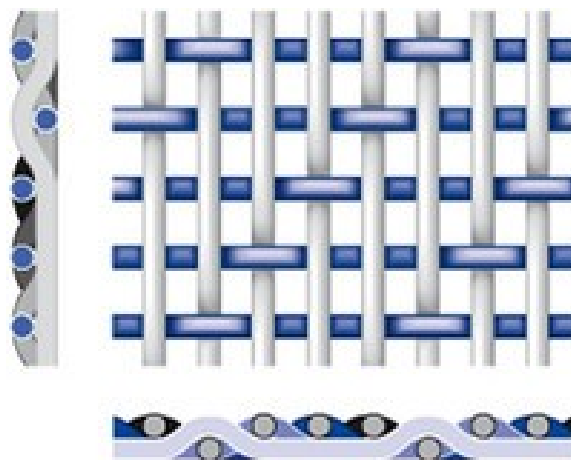
Hamppu on yksi vanhimmista viljellyistä kuituraaka-aineista. Se on luonnostaan vastustuskykyinen useimmille tuholaisille eikä sen viljelyyn tai käsittelyyn tarvita yhtä paljon kemikaaleja kuin puuvillan. Historiallisesti farkkua on tehty hampusta sen alkuaajoista saakka mutta nykytuotanto on puuvillaan verrattuna pienekköä hampun kasvatukseen alueittain liittyvästä lainsäädännöstä johtuen. Hamppukuitu on valkaisuomattomana ruskeaa. Hamppua käytetään hinnan ja kovan tunnun vuoksi useimmiten puuvillaan sekoitettuna.

Luksusmerkit ovat kokeilleet sekoittaa puuvillaan pieniä osuuksia kashmiria ja silkkiä, jotka molemmat pehmentävät kankaan tuntua ja lisäävät sen lämmöneristävyyttä. Niiden käyttöä voidaan kuitenkin pitää lähinnä erikoisuudentavoitteluna.

Harvinaisempia sekoitteita on moottoripyörävarusteissa kestävyyttä lisäämään käytettävä aramidikuitu Kevlar® ja muutamissa miestenvaatteissa kokeiltu ruostumaton teräs. Kumpikaan ei värjäydy jonka vuoksi ne on päällystettävä kehrätessä. [3]

2.2 Rakenne

Farkkukankaat kudotaan 2:1 tai 3:1 -toimikkaina joka tarkoittaa, että kude hyppää joko kahden tai kolmen loimilangan yli. 3:1 -toimikasta käytetään pääsääntöisesti kankaissa, joiden neliömassa on yli 250 g/m². Rakenne on esitetty kuvassa 1. Farkkukankaalle on ominaista, että päällyspuolena käytetään loimivaltaista puolta. Koska loimena käytetään värjättyä lankaa ja kuteena värjäämätöntä tai valkaistua, farkun oikea puoli on sininen ja nurja puoli valkoinen. Kierrätyskuituja käytettäessä värjäämätön puoli voi olla myös esimerkiksi ruskea tai vihreä. [4]



Kuva 1. 3:1-toimikas[4]

Toimikassidos tekee kankaan pinnasta tiheämmän ja siten kestävämmän kuin yksinkertaisemmat palttinasidokset. Sidoksen luoma vinoraitainen tekstuuri on olennainen osa farkkukankaan ulkonäköä. Epätasainen pinta kuluu elävästi, mitä hyödynnetään efektikäsittelyissä. Itse sidoksen lisäksi värin käyttäytymiseen vaikuttaa rakenteellisesti toimikkaan suunnan ja langan kierteen valinta.

Toimikassidoksessa on vähemmän sidospisteitä kuin palttinoissa, minkä vuoksi langoilla on vapaampi liikkuvuus. Tämä lisää kankaan joustavuutta eli parantaa vaatteiden istuvuutta. Jatkuvalle toimikkaalle on taipumus kiertyä, minkä vuoksi kuviota usein rikotaan joko säännöllisesti tai epäsäännöllisesti.

2.3 Värjäys

Vaikka indigo on alun perin kasviväri ja veteen liukenematon pigmentti, jota saadaan *Indigofera* ja *Isatis tinctoria* -kasveista, farkkuja on värjätty lähes koko historiansa ajan synteettisellä indigolla. Sen valmistusprosessi patentoitiin vuonna 1897. [5]

Farkkukankaat värjätään nykyään pääosin kyyppiväreillä, joista tärkein on VAT BLUE 1, joka tunnetaan yleisesti indigona. Kustannussyistä pieninä määrinä käytetään myös rikkivärejä SULPHUR BLACK, SULPHUR BLUE ja HYDRON BLUE. [6] Polymeerisekoitteissa voidaan käyttää myös disperssivärejä.

Indigo sekoitetaan emäksiseen liuokseen pelkistimen kanssa. Indigo pelkistetään värittömään muotoonsa rauta(II)sulfaatilla FeSO_4 tai natriumditioniitilla $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ennen alkali-liotusta. Raaka-aine kastetaan liuokseen useimmiten lankana, jolloin väriaine imeytyy langan pinnan kuituihin värittömänä leukomuotona. Sininen väri tulee näkyviin vasta langan kuivuessa, kun väriaine hapettuu. Samalla se muuttuu liukenemattomaksi. Kastaminen ja hapettuminen voidaan toistaa useita kertoja jolloin lankaan muodostuu vuosirengasmaisia kerroksia. Värjäystavan vuoksi langan ydin jää usein värjäntymättömäksi. Tätä hyödynnetään kulutuskäsittelyissä.

2.4 Takaisinvärjäytyminen

Farkkukankaan nurjana puolena käytetään sen kudevoittoista vaaleaa puolta. Lisäksi taskujen sisäpussina käytetään useimmiten valkoista tai valkaisematonta puuvillakangasta. Varsinkin kulutusefektejä luotaessa on toivottavaa, että nämä vaaleat osat säilyvät puhtaina.

Takaisinvärjäytymisellä tarkoitetaan jo irrotettujen värimolekyylien tarttumista takaisin tuotteeseen. Takaisinvärjäytyminen on ongelmallista lähes jokaisessa huuhteluvaiheessa valkaisujen jälkeen. Sitä pyritään estämään esikäsittelyillä, säätämällä itse käsittelyn olosuhteita ja poistamaan jälkikäsittelyillä.

Takaisinvärjäytymistä tapahtuu, kun kulutuksen irrottama värjäytynyt kuituaines hajoaa glukoosiksi, joka toimii pelkistimenä kiinnittäen irtonaisen värimolekyylin värjäytymättömään selluloosaketjuun. Kulutuskäsittelyyn voidaan lisätä hapetinta, joka pelkistää glukoosin ja estää takaisinvärjäytymisen. Hapettimina käytetään laimeampina liuoksina samoja yhdisteitä kuin kemiallisessa valkaisuissa. [7]

Toinen, hapettimia turvallisempi ratkaisu on entsymaattinen käsittely, jossa entsyymivalkaisuun lisätään esimerkiksi kutiinaasi- tai muuta lipolyyttistä entsyymiä, mikä estää takaisinvärjäytymisen. Materiaalikustannuksiltaan entsymaattinen käsittely on kalliimpi mutta se vaatii vähemmän huuhteluja ja veden puhdistusta. [8]

Uusimmat menetelmät käyttävät polyglykolieetterijohdannaisia ja polymeerifosfaatteja, jotka eristävät indigomolekyylit ja estävät uudelleenkiinnittymisen. Niiden etu entsymaattisiin menetelmiin nähden on, että ne toimivat tehokkaammin kovassa vedessä. [7]

2.5 Perinteiset kulutuskäsittelyt

Tässä luvussa kuvaillaan suosituimmat käytössä olevat ja osin jo käytöstä poistuneet menetelmät joilla farkkuja valkaistaan kauttaaltaan tai joilla luodaan paikallisia kulutusefektejä. Luvussa 2.5.1 tutustutaan mekaaniseen kivipesuun. Luvussa 2.5.2 edetään kemiallisiin valkaisumenetelmiin. Luku 2.5.3 käy läpi myöhemmissä testauksissa käytetyn entsyymaattisen kivipesun pääperiaatteet ja 2.5.4. pureutuu yhteen ongelmallisimmista valkaisumenetelmistä, hiekkapuhallukseen.

2.5.1 Kivipesu

Kulutukset on tehty pitkään mekaanisesti. Kivipesussa väriä irrotetaan ja kangasta pehmitetään lisäämällä pesukoneeseen hohkakiviä. Sen tuloksena on luonnollisesti kuluneen näköinen pinta. Prosessi on kuitenkin monella tapaa ongelmallinen, ja siksi sille on etsitty korvaavia menetelmiä jo pitkään.

Pehmeä hohkakivi tuottaa kuluessaan pölyä, joka jää vaatteisiin ja laitteisiin. Pölyn poistaminen vaatii pahimmillaan useita pesukierroksia, mikä vaikuttaa suoraan tuotantopeuteen ja veden kulutukseen. Pöly poistovedessä ja käytettyjen kivien jätehuolto aiheuttavat ympäristöhaittoja. Pöly aiheuttaa myös terveysongelmia hengitettäessä.

Pölyävyyden välttämiseksi kivinä on yritetty käyttää monenlaisia materiaaleja, muun muassa metallinkappaleita. Mekaaninen rasitus on kuitenkin pehmeälläkin kiviaineksella rankkaa sekä vaatteiden metalliosille että pesukoneille. Tämän vuoksi kokeilut raskaammilla ja kovemmilla materiaaleilla eivät ole olleet menestyksekkäitä.

Mekaaninen rasitus vaikuttaa negatiivisesti kankaan lujuuteen. Paksulla puuvillafarkulla vaikutuksen vetolujuuteen on todettu olevan alle 10 %. [9] Herkempien kuitujen mekaanisen kulutuksen kesto on heikompaa, ja varsinkin elastaanisekoitteiden yleistymisen on pakottanut etsimään hellävaraisempia menetelmiä.

Kivipesusta on pitkälti luovuttu. Sitä käytetään enää lähinnä tutkimustarkoituksessa ja muutamissa tuotantolaitoksissa. Nimi on silti edelleen käytössä mutta sitä käytetään enemmän väritystä kuvaavana.

2.5.2 Kemiallinen valkaisu

Kemiallisella valkaisulla tarkoitetaan tässä yhteydessä ensisijaisesti pesuihin lisättäviä yhdisteitä, kuten natriumhypokloriittia, kaliumpermanganaattia ja vetyperoksidia. Niiden vaikutus perustuu voimakkaaseen hapettumiseen. Niitä voidaan käyttää itsenäisesti tai yhdessä mekaanisen kulutuksen kanssa. Suurin yhtenäinen ongelma on, että reaktion pysäyttäminen vaatii yleensä neutraloivan kylvyn ja mahdollisesti useita huuhteluita, mikä lisää veden kulutusta ja ympäristöhaittoja, vie aikaa ja vaatii vedenpuhdistusta.

Natriumhypokloriittia NaOCl käytetään eniten edullisuutensa ja tuottamiensa miellyttävien sinisen sävyjen vuoksi. Prosessissa kuitenkin syntyy helposti ympäristöasetukset ylittäviä määriä orgaanisia halogeeniyhdisteitä. Se reagoi värin lisäksi myös kuituaineen kanssa aiheuttaen vetolujuuden heikkenemistä. Tätä voidaan jossakin määrin säädellä tasapainottamalla altistusaikaa ja muita olosuhteita, kuten lämpötilaa ja pH:ta.

Kaliumpermanganaattia KMnO_4 käytetään yleisesti niin valkaisuun kuin yksityiskohtiinkin. Yleisvalkaisussa se sekoitetaan veteen ja yksityiskohdissa sitä voidaan joko ruiskuttaa tai levittää siveltimellä kankaalle. Liukenemattomat kiteet tai epätasainen sekoittuminen voivat aiheuttaa ei-toivottavia sävyeroja erässä. Prosessi myös jättää jälkeensä tummasävyistä mangaanidioksidia $\text{MnO}(\text{OH})_2$, joka joudutaan huuhtelemaan tuotteesta esimerkiksi natriumbisulfaatin NaHSO_3 tai peretikkahapon $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$ avulla. [10] Kaliumpermanganaatilla päästään haluttaessa natriumhypokloridia vaaleampiin lopputuloksiin mutta sävy on harmaampi. Se on myös hieman hellävaraisempi kuiduille.

Vetyperoksidia H_2O_2 käytetään varsinkin mustan farkkukankaan valkaisuun, koska sillä vältetään ei-toivottu keltainen sävy. Se on myös kuluttaja-asiakkaiden saatavilla, joten kotona tehtäviin valkaisuihin käytetään useimmiten mietoja vetyperoksidiliuoksia. Vesiliuoksen heikon itsenäisen hapetuskyvyn vuoksi se vaatii käytännössä aina alkaalisen katalyytin. Valkaisu saavutetaan kuitenkin yhdellä kerralla muiden kemikaalien vaatimien 2-3 vaiheen sijaan. Peroksidit ovat verrattain hellävaraisia kuiduille. [[11];[12];[13]]

2.5.3 Entsyymaattinen kivipesu

Entsyymaattinen kivipesu esiteltiin vuonna 1989 ja otettiin kaupallisesti käyttöön kaksi vuotta myöhemmin. Se perustuu sellulaasiin, jossa homesieni- tai bakteerikasvustosta eristetty entsyymisysteemi hajottaa selluloosakuitua glukoosiksi. Tyypillisin tekstiiliteollisuudessa käytetty lähde on *Trichoderma reesei* -sieni.

Osa entsyymeistä, kuten eksoglukonaasit, ovat erikoistuneet hajottamaan selluloosaketjujen päitä ja osa, kuten endoglukonaasit, kohdistuvat ketjujen keskiosiin. *T. Reesein* tiedetään jakautuvan ainakin kahteen ekso- ja kuuteen endoglukonaasiin sekä kahteen beta-glukosidaasiin. [14]

Valkaisussa hyödynnetään pääosin eksoglukonaaseja, jotka hajottavat värjäyksessä voimakkaimmin reagoivat kuitujen päät. Voimakkain tulos saavutetaan mekaanisen rasituksen yhteydessä, jolloin selluloosan kiderakenne aukeaa ja entsyymit pääsevät vaikuttamaan syvemmälle rakenteeseen.

Kivipesusta poiketen entsyymaattisessa kivipesussa mekaaniseksi rasitukseksi riittää usein tuotteiden toisiaan ja laitteiston pintaa vasten tuottama kitka. Kitka viimeistelee entsyymien aloittaman irroitustyön. Voimakkaiden lopputulosten aikaansaamiseksi voidaan käyttää myös kiviä mutta niiden määrä on perinteistä kivipesua vähäisempi. Pesukoneet saadaan siksi täytettyä tehokkaammin ja tuotantoaika siten lyhennettyä.

Entsyymisysteemiä voidaan muokata erilaisiin tarpeisiin. Valkaisun lisäksi voidaan vaikuttaa esimerkiksi kankaan pinnan irtonaisiin kuidunpäihin ja sitä kautta nukkaantumisominaisuuksiin. Tätä prosessia kutsutaan biohionnaksi. Lopputulos on kiiltävä eikä sitä siksi käytetä juurikaan farkkukankaissa. Entsyymipesua voidaan myös yhdistää muihin pesu- ja huuhteluprosesseihin, mikä lyhentää osaltaan tuotantoaikoja.

Koska sellulaasi vaikuttaa suoraan kuituainekseen se aiheuttaa jossakin määrin massakatoa ja heikentää sen myötä kankaan vetolujuutta. Katoa voidaan rajoittaa valitsemalla sopivin entsyymisysteemi, altistusaika ja -pH.

2.5.4 Hiekkapuhallus

Hiekkapuhallusta on käytetty 1990-luvulta asti luomaan kulutettuja yksityiskohtia. Se on tuotantotapana nopea, helppo ja edullinen. Hienojakoinen hiekka puhalletaan paineilma-ruiskulla farkun pintaan josta se irrottaa pintaväriä samaan tapaan kuin kivipesu. Toistettavuuden varmistamiseksi käytetään polymeerisabluunoita. Hiekkapuhalletut alueet käsitellään usein kaliumpermanganaatilla värien kirkastamiseksi ja kontrastin kasvattamiseksi. [15]

Hiekkapuhalluksen suurin ongelma on työntekijöiden altistuminen piidioksidi- eli kvarsipölylle. Hienojakoinen pöly kerääntyy keuhkoihin ja aiheuttaa kivipölykeuhkoa. Kivipölykeuhko altistaa edelleen muun muassa keuhkotuberkuloosille, keuhkohtaumataudille ja keuhkosityövälle. Krooninen silikoosi vaatii keskimäärin 20 vuoden altistumisen kvartsipölylle. Farkkutehtaissa on havaittu kuitenkin nimenomaan akuuttia, nopeasti etenevää sairausmuotoa, sillä työntekijöiden kerta-altistukset ovat massiivisia ja suojavaustus alkeellista. [[16];[17]]

Turkki kielsi menetelmän käytön 2009, minkä seurauksena suurimmat toimijat, Levi Strauss & Co. ja H&M edelläkävijöinä 2010, ovat myös kieltäneet hiekkapuhalluksen tuotantoketjuissaan. Käytännössä tuotannon valvominen on ollut vaikeaa. [18]

2.6 Otsonivalkaisu

Farkkujen perinteiset tuotantomenetelmät vaativat huuhteluita ja pesuja erilaisten kemikaalien kanssa jotka kuluttavat energiaa ja aikaa sekä aiheuttavat huomattavia ympäristöhaittoja. Tutkimuksissa vahvimமாகsi korvaajaksi on noussut otsoni.

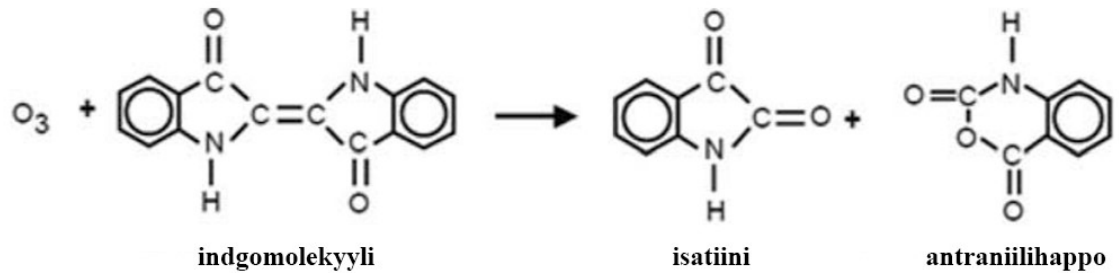
Otsonia on aikaisemmin käytetty muun muassa lääketieteellisten instrumenttien steriloinnissa ja jäteveden puhdistuksessa. Sitä on käytetty tekstiiliteollisuudessaakin ennestään veden puhdistuksessa erityisesti värijäämien kirkastamiseen. Myöhemmin havaittiin, että sitä pystytään hyödyntämään tehokkaasti myös kankaiden valkaisussa joko kauttaaltaan tai paikallisesti käytettävästä menetelmästä ja esivalmisteluista riippuen. [19]

Otsonivalkaisu voidaan karkeasti jakaa kahtia kuiva- ja märkämenetelmiin sen mukaan mihin välittäjäaineeseen seostettuna otsoni ohjataan kontaktiin tuotteen kanssa. Märkämenetelmässä otsoni sekoitetaan veteen, kuivamenetelmässä ilmaan.

Otsoni O_3 on ilmakehässä esiintyvä kaasu, joka syntyy luonnossa auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta. Otsoni on epästabiili molekyyli ja siksi voimakas hapetin (pelkistymispotentiaali $E = 2,07 \text{ V}$). Tämä on huomattava pesutekninen hyöty koska happimolekyyleiksi O_2 pelkistytvä otsoni ei jätä jäämiä valmiisiin tuotteisiin.

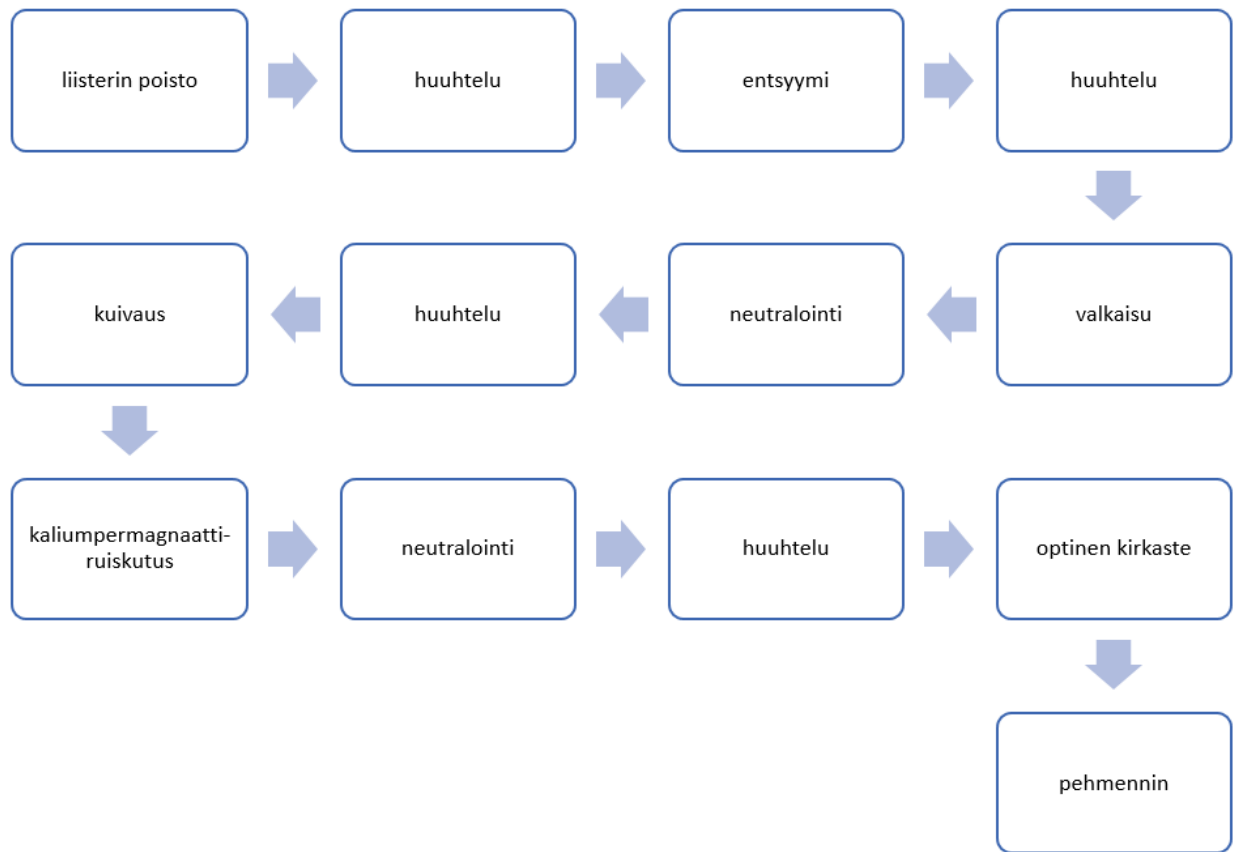
Valkaiseva vaikutus perustuu otsonin kykyyn hajottaa orgaanisia yhdisteitä. Kuva 2 havainnollistaa sinisen indigomolekyylin pilkkoutumista ensin keltaiseksi isatiiniksi $C_8H_5NO_2$ ja isatiinianhydritiksi $C_8H_5NO_3$ ja edelleen eteenpäin pienemmiksi molekyyleiksi. Samalla se pilkkoo veden kovuustekijöitä, bakteereja ja kemikaalijäämiä.

Indigon hajoamistuote isatiini ja reaktiossa edelleen syntyvä antraniilihappo $C_7H_7NO_2$ aiheuttavat jonkin verran tuotteiden kellastumista. Niiden ja muiden apuaineiden poistamiseksi tuotteet on otsonikäsittelyn jälkeenkin huuhdeltava. [20]

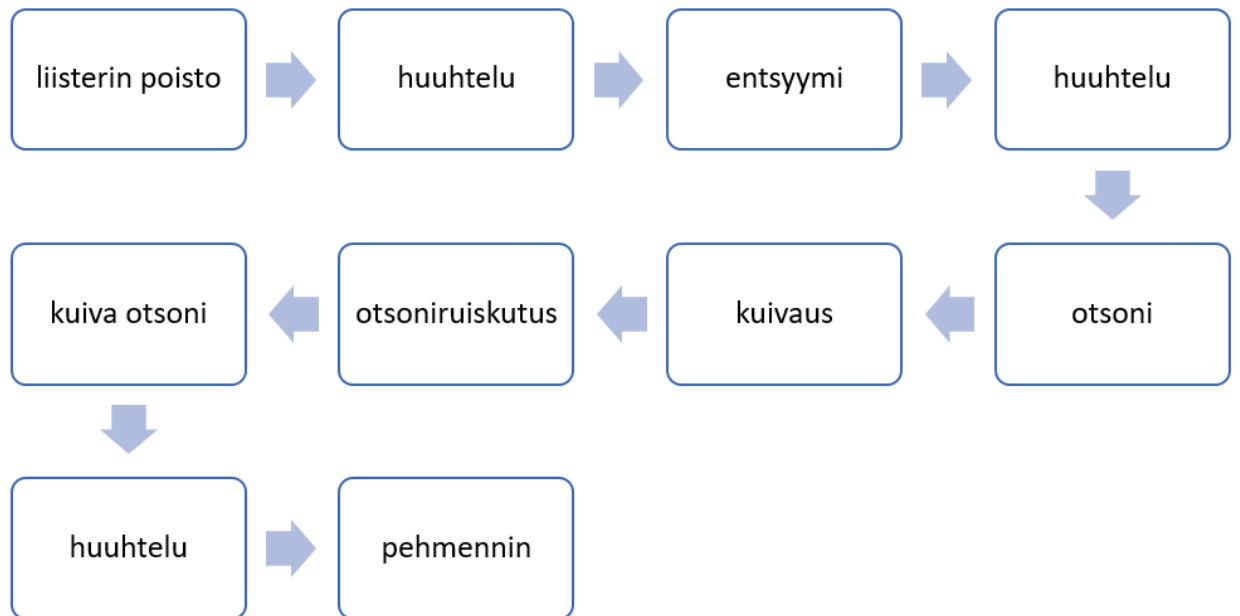


Kuva 2. Indigomolekyylin hajoaminen otsonikäsittelyssä [20]

Ekologisten näkökulmien ohella otsonin käytöstä on myös selkeää taloudellista hyötyä. Harvemmat huuhtelukerrat vähentävät vedenkulutusta ja nopeuttavat tuotantoa. Samalla kemikaalikulut laskevat. Valitsemalla tuotantoketjuun tehokkaimman kokonaisuuden siitä voidaan poistaa useita neutralointi- ja huuhteluvaiheita. Esimerkiksi Green Tech Corp. on verrannut perinteistä prosessia otsoniprosessiin, jossa kaksi vaihetta, valkaisu ja ruiskutus, on korvattu otsonimenetelmillä. He ilmoittavat laitteidensa säästävän 32 minuuttia eli 19,8% käsittelyajasta. Kuvassa 3 on perinteinen kulutus- ja pesuprosessi ja kuvassa 4 näkyy otsonimenetelmiä hyödyntävä prosessi. Ketjuja vertailemalla voidaan havaita otsonimenetelmien prosessia lyhentävä vaikutus, kun valkaisun ja ruiskutuksen jälkeiset neutraloinnit voidaan jättää pois. [21]



Kuva 3. Esimerkki perinteisestä kulutus- ja pesuprosessista [21]



Kuva 4. Esimerkki otsoniprosessista [21]

2.6.1 Laitteistot

Otsonin epästabiiliudesta johtuen laitteistot on rakennettava siten, että käytettävä otsoni rikastetaan vasta käyttöhetkellä. Pesukoneisiin liitetään otsonigeneraattori, joka suodattaa ja puhdistaa ilman happimolekyylit ja rikastaa kuivan hapen sähkösuodattimen avulla edelleen otsoniksi. [20]

Voimakkaan hapettimen käyttö asettaa laitteistolle laatupaineita. Kaikkien osien on oltava kemiallisesti stabiileja. Erityisesti perinteisesti polymeerimateriaaleista valmistettaviin eristeisiin, liittimiin ja putkiin on syytä kiinnittää huomiota. Yhdessä turvallisten menettelytapojen kanssa oikeilla materiaali- ja laitevalinnoilla suojellaan työntekijöitä. Ensimmäiset otsonivalkaisut tehtiin ripustamalla kostutetut tuotteet narulle ja ruiskuttamalla niihin otsonia kaasumuodossa, mikä altisti työntekijät myrkylliselle otsonille. Pienilläkin pitoisuuksilla otsoni ärsyttää keuhkojen limakalvoja ja silmiä sekä aiheuttaa päänsärkyä. Suurilla pitoisuuksilla sen hengittäminen voi johtaa tukehtumiseen. [22]

Nykyisellään laitevalmistajia on useita ja laitteistojen laatu ja laajuus vaihtelevat huomattavasti. Pienimmillä investoinneilla pesukoneisiin voidaan lisätä erillinen otsoniyksikkö. Tämän tyyppiset ratkaisut eivät yleensä täytä turvallisuusasetuksia.

Farkkutuotantoon keskittyneistä laitevalmistajista suurimmat ovat espanjainen Jeanologia 85 % markkinaosuudellaan laserviimeistyksistä vuonna 2012 ja italialainen Tonello. Yhdysvaltalaisilla Ozone Denim Systemsillä ja GreenTech Corporationilla sekä turkkilaisella Laser Systems Technologylla on myös kohtalainen markkina-asema.

Jeanologia toi ensimmäiset laseryksikkönsä markkinoille 2003. Otsonipesukone G2 seurasi 2011. Laitteita käyttävät muiden muassa AG Jeans, Diesel, GAP, G-Star, H&M, Levi's, Pepe Jeans, Replay Jeans, Seven ja Zara. [23]

Levi's on tehnyt yhteistyötä myös Tonellon kanssa kivettömän kivipesun kehittämiseksi. Tonellon otsonipesukoneita käyttävät muiden muassa Lee ja Wrangler. Tämän työn näytteet on pesty Tonellon 5 kg testikokoisella teollisuuslaitteistolla. [24]

2.6.2 Märkämenetelmä

Märkämenetelmä on valkaisutehokkuudeltaan kuivamenetelmää tehokkaampi ja sen toistettavuus on parempi koska olosuhteet on helpompi pitää kosteuden suhteen vakiona. Otsoni liuotetaan veteen ennen kuin vesi ohjataan rumpuun. Pienemmissä koneissa se saatetaan lisätä myös kaasuna valmiiksi vedellä täytettyyn rumpuun. Tällöin yksittäiset kuplat ovat suurempia eikä konsentraatio ole yhtä tasainen, mikä johtaa epätasalaatuisiin tuloksiin. Otsonia voidaan käyttää veteen liuotettuna myös ruiskuttamalla yksityiskohtien luomiseen. Tekniikkaan palataan luvussa 2.6.4.

Märkämenetelmää rummussa käytetään koko tuotteen valkaisuun ja korvaa perinteisistä menetelmistä entsyymivalkaisun tai kemiallisen valkaisun. Sen etu edellisiin nähden on, että käytettävä vesi voi olla kylmää tai huoneenlämpöistä 55-70 asteen sijaan eikä se vaadi samalla tavalla neutralointia ja neutraloinnin jälkeisiä huuhteluja. Tällä säästetään huomattavasti vettä ja energiaa.

Vesi välittäjäaineena altistaa menetelmän takaisinvärjäytymiselle. Takaisinvärjäytymistä voidaan vähentää esikäsitteilyllä. Kuiva otsonikäsitteily on kuitenkin kustannustehokkaampi tapa puhdistaa takaisinvärjäytyneet kuidut.

Otsoni jää käsittelyn jälkeen huuhteluveteen ja pelkistyy siellä ajan kuluessa hapeksi hajottaen samalla jäteveden orgaanisia kemikaaleja ja hiukkasjäämiä. Sen puoliintumisaika vedessä on 20 minuuttia jos lämpötila on 20°C ja 60 minuuttia lämpötilan ollessa 5°C. Otsonin määrän katsotaan olevan viemäriverkostoon sekoittuessaan jo niin pieni, ettei sillä ole haittavaikutuksia. [25]

2.6.3 Kuivamenetelmä

Kuivamenetelmässä otsoni sekoitetaan käsittelytilan ilmaan. Useimmiten tuotteet kostutetaan, jolloin otsoni reagoi voimakkaimmin kostutettujen kuitujen kanssa. Valkaisuun on todettu olevan voimakkaampaa kosteuden lisääntyessä aina 60 % saakka. Kuivamenetelmän etu on veden säästön lisäksi sen kohdistettavuus. Tästä johtuen sitä voidaan pitää perinteisistä menetelmistä kaliumpermanganaatin korvaajana. Täysin kuivaakin käsittely on käytössä silloin kun tarkoituksena ei ole vaikuttaa värjäytyyn materiaaliin vaan puhdistaa takaisinvärjäytyneet alueet kuten taskupussit ja tuotteiden kudevoittoiset nurjat puolet. [[20]; [26]]

Menetelmää voidaan käyttää joko kokonaisvaltaiseen, alueittaiseen tai yksityiskohtaiseen valkaisuun. Kokonaisten tuotteiden valkaisu voidaan tehdä rummussa. Yksityiskohtien luomiseen on käytettävä vetokaappityyppistä laitteistoa, joka esitellään luvussa 2.6.4. Kummassakin tapauksessa jäljelle jäänyt otsoni imetään laitteesta ja pelkistetään liekillä happimolekyyleiksi ennen ilmatilaan vapauttamista.

Otsonivalkaisu on kohtuullisilla altistusajoilla ja konsentraatioilla hellävarainen kuduille. Hmida ja Ladhari totesivat kudelankojen olevan alttiimpia vetolujuuden heikentymiselle [20]. Tämä selittyy sillä, että värjätyissä ja liimatuissa loimilangoissa on enemmän kuituja suojaavia molekyylejä pinnalla. Tämän vuoksi liisterin poistoa ei tulisi suorittaa liian tehokkaasti ennen otsonikäsitteilyä. Kaappilaitteistolla eliminoidaan edelleen rummun kitkan aiheuttama kulutus.

Rumpuvalkaisun haasteena on kosteuden hallinta. Tuotteet saattavat seistä tuotantovaiheiden väleissä eri mittaisia aikoja ja kuivua epätasaisesti riippuen siitä, miten ne sijoituvat korissa. Tasalaatuisten tulosten saavuttamiseksi tuotanto olisi suunniteltava siten, että kostutuksen ja otsonikäsittelyn väliin ei jäisi odotusta.

Koska kuivassa käsittelyssä kaikki otsonin hajottamat yhdisteet jäävät tuotteisiin, ne on huuhdeltava. Ekologisimmin ajattelevat pitävät tätä vaihetta turhana koska useimmat asiakkaat pesevät ostamansa vaatteet ennen käyttöä. Jäämät kuitenkin ylittävät turvallisille tekstiilituotteille asetetut rajat. Yleensä tuotteet halutaan myös käsitellä optisilla kirkasteilla ja esimerkiksi mittapysyvyyttä lisäävillä hartseilla ennen myyntiä.

2.6.4 Ruiskuttaminen

Ruiskuttamalla voidaan luoda yksityiskohtia tai kirkastaa ja lisätä entisestään mekaanisesti kulutettujen alueiden kontrastia. Käsittely tehdään vetokaappityyppisessä laitteistossa, jossa vaate puetaan ilmatäytteisen mallinukan päälle. Tietokoneohjattu kelkka ruiskuttaa ohjelmoidut kuviot tuotteeseen. Apuna voidaan käyttää myös sabluunoita, jotka kiinnitetään tuotteen pintaan manuaalisesti ennen käsittelyä. Kuvassa 5 on käsitelty tuote laitteiston sisällä.



Kuva 5. Tietokoneohjattava ruiskutuslaitteisto otsonivalkaisuun [26]

Ruiskuttamista voidaan tehdä sekä kuiva- että märkämenetelmällä. Kuivamenetelmässä halutut alueet kastellaan vedellä tai miedosti happamalla liuoksella, minkä jälkeen tuote altistetaan otsonille. Märkämenetelmässä tuotteet ruiskutetaan otsonoidulla vedellä. Näistä kahdesta kuivamenetelmä on helpommin hallittava ja sen toistettavuus on parempi. [27]

Ruiskuttaminen on kuiduille laseria hellävaraisempi menetelmä. Sen toistettavuus on heikompi ja jälki epätarkempi, koska nesteen imeytyminen kuiturakenteessa on vaikeasti rajoitavissa. Se on kuitenkin erinomainen korvaaja kaliumpermanganaatille.

2.7 Laserkäsittely

Laseria on hyödynnetty yksityiskohtien luomiseen jonkin verran pidempään kuin otsonia. Tekstiiliteollisuudessa käytetään useimmiten hiilidioksidilasereita, joiden välittäjäaineena toimii hiilidioksidin CO₂, typen N ja heliumin He seos. [28]

Laserkäsittelyssä vaate puetaan samalla tavalla ilmatäytteisen mallinukun ylle kuin ruiskutuksessa. Tämän jälkeen tietokoneohjattu laser polttaa halutun designin tuotteen pintaan. Toimintatasoja on neljä, joista puuvillafarkkujen käsittelyssä voidaan hyödyntää kolmea: lasermerkkausta, laserkaiverrusta ja laserleikkausta.

Lasermerkkausta käytetään valkaisuun. Tunkeutumissyvyys asetetaan siten, että säde hajottaa pinnan värimolekyylejä muttei vielä tuhoa kuituainesta. Tuotannollisesti lasermerkkaus ja otsoniruiskutus ovat rinnakkaiset menetelmät.

Laserkaiverruksessa tunkeutumissyvyys asetetaan suuremmaksi siten, että säde rikkoo kuidun pinnan ja aiheuttaa syvyydestä riippuen kankaan vetolujuuden paikallista heikkenemistä. Kaiverruksella voidaan toteuttaa perinteisesti mekaanisesti tuotettuja kulutusefektejä sekä kankaan kuviointia.

Laserleikkauksessa tunkeutumissyvyys on nimensä mukaisesti niin suuri, että materiaali leikkaantuu. Sitä hyödynnetään ompelimossa tasolaitteistoilla kappaleiden leikkaamiseen ja viimeistyksessä erilaisten viiltojen toteuttamiseen.

Neljäs toiminnallisuus on hitsaaminen, jossa kappaleet liitetään toisiinsa ompelematta. Tämä vaatii sulavan kuitumateriaalin eikä se siksi sovellu puuvillafarkulle. Sekoitteiden ja esimerkiksi kierrätyspolyesterin käytön lisääntyessä se tarjoaa kuitenkin uusia designmahdollisuuksia esimerkiksi taskuille ja paikoille.

Laserkäsittelyn vahvuus on sen toistettavuus. Se myös eliminoi työntekijöiden altistumisen tekstiilipölylle ja kemikaaleille. Työturvallisuuteen on tosin kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä lasersäde on erittäin haitallinen silmille. Kun lasermenetelmä yhdistetään otsonimenetelmiin, veden- ja kemikaalien kulutus tuotantoketjussa voi vähentyä jopa 90%. [[28];[29]]

3. MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tässä luvussa on työhön liittyvän testauksen kuvaus. Näytteet viimeistelykäsiteltiin teollisuusympäristössä jonka jälkeiset pesutestit suoritettiin laboratorio-olosuhteissa. Luvussa esitellään käytetty materiaali, näytteiden viimeistelykäsittelyt ja testauksen koejärjestelyt. Pesusykleissä käytetty standardilaitteistot, materiaalit ja ohjelmat on esitetty alaluvussa 3.4. Luvut 3.5-3.8 keskittyvät käytettyihin mittausmenetelmiin.

3.1 Materiaalit

Tutkittavana materiaalina käytettiin kaupallisesti saatavilla olevaa farkkukangasta M.A.S.I Companyn varastosta. Puuvilla-elastaanisekoite (98% puuvilla/2 % elastaani) on värjätty indigon ja rikkivärin yhdistelmällä. Twill -sidoksinen toimikas on kudottu valkoisella kuteella värjättyyn loimeen. Loimi on 100 % puuvillaa ja kude sekoitetta. Kankaan neliöpaino ennen viimeistelykäsittelyä oli standardin ISO 3801 mukaisesti määritettynä 340 g/m². [30]

Farkkukangas oli testausvaiheessa viimeistelykäsittely ja ommeltu valmiiksi tuotteeksi. Näytteet leikattiin housujen lahkeista alueilta, joita ei oltu laserkäsittely tai käsittely oli paljaalla silmällä havainnoituna vähäistä. Värimuutosten lisäksi laserkäsittely voi pienentää kankaan neliömassaa 6-12 % ja vaikuttaa heikentävästi kankaan lujuuteen käsittelyn voimakkuudesta riippuen. Käsittely aiheuttaa puuvillakuituun huokoisia mikrovaurioita ja jopa repeämiä. [31] Näytteet pidettiin niin tasalaatuisina kuin se materiaalin rajoitetun määrän puitteissa oli mahdollista laserkäsittelyn vaikutuksen eliminoimiseksi ja tulosten vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi.

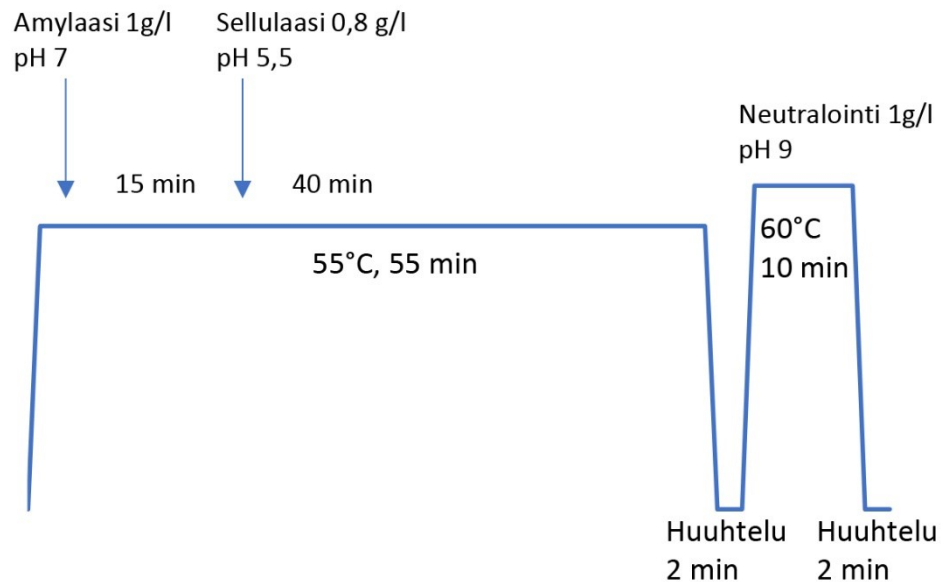
Farkkukankaan lisäksi tutkittiin taskukangasta. Alun perin valkoinen puuvillakangas oli testauksen alkaessa värjäytynyt viimeistelykäsittelyiden ja huuhteluiden seurauksena. Taskukankaan neliömassaa ei määritetty.

3.2 Viimeistelykäsittely M.A.S.Illa

Testimateriaali viimeistelykäsiteltiin M.A.S.I Companyn tuotantolaitoksessa Kempeleellä 2016 Tonellon testikokoisella 5 kg teollisuuslaitteistolla. Laitteistossa on otsonin hajottava poistojärjestelmä sekä turvasensorit mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi.

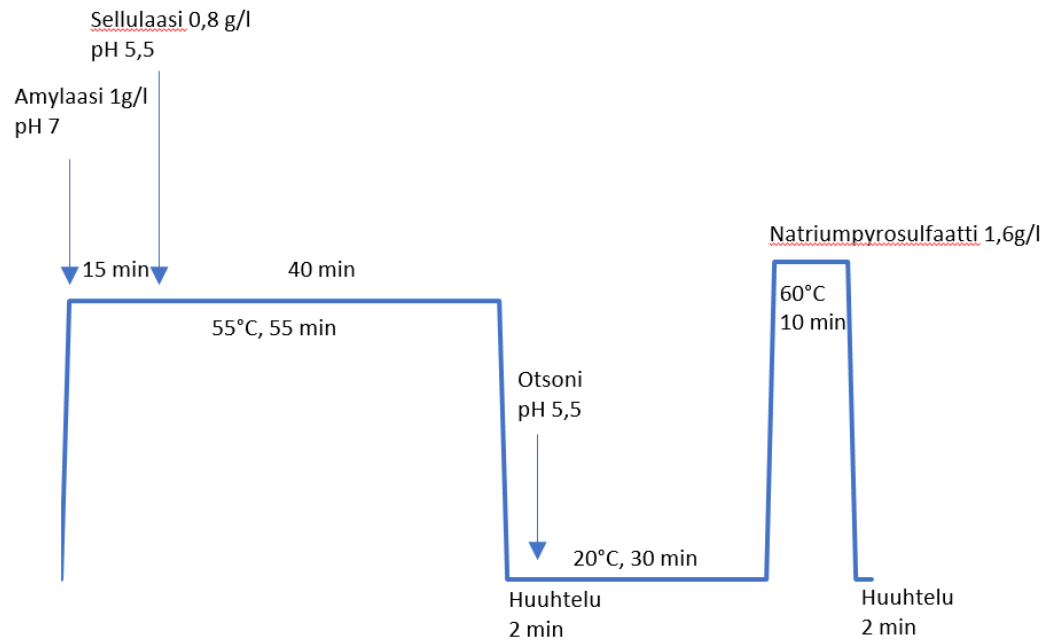
Näytteistä poistettiin liisteri ja ne kivipestiin entsymaattisesti yhdistetyllä käsittelyllä liemisuhteella 8:1. Liisterin poisto tehtiin α -amylaasientsyymillä (1g/l) 55°C neutraalissa pH:ssa. 15 minuutin jälkeen kylpyyn lisättiin entsyymikäsittelyä varten etikkahappoa (CH₃COOH) laskemaan pH tasolle 5,5 ja sellulaasientsyymiä (0,8 g/l). Kylpyä jat-

kettiin 40 minuuttia, jonka jälkeen näytteitä huuhdeltiin kahden minuutin ajan 20°C vedessä. Näytteiden 1 ja 3 entsyymit neutraloitiin alkaalisella pesuaineella (1 g/l) jolla pH nostettiin yli yhdeksään ja pidettiin siellä 10 minuuttia 60 °C. Neutralointikylvyn liemisuhte oli 6:1. Näytteiden 1 ja 3 entsyymaattinen kivipesu ja liisterin poisto päätettiin kylmällä huuhtelulla ja 80°C rumpukuivauksella. Käsittelyn kulkua tarkennetaan kuvassa 6. Jatkossa näytteisiin 1 ja 3 viitataan entsyymipestynä farkkuna ja taskupussina.



Kuva 6. Yhdistetty esikutistus ja entsyymaattinen kivipesu.[32]

Näytteet 2 ja 4 otsonipestiin entsyymaattisen kivipesun huuhtelun jälkeen. Hapan pH 4,5 tavoitettiin lisäämällä etikkahappoa, jonka jälkeen hapesta rikastettu otsoni lisättiin nesteseen laitteiston liuotusjärjestelmän kautta. Otsonin määrä oli koko 30 minuutin pesun ajan 4,6 g/kangaskilogramma. Pesulämpötila oli 20 °C ja nestemäärä 5:1. Pesun jälkeen otsoni neutraloitiin nostamalla lämpötila 60 °C:seen ja lisäämällä liuokseen Natriumpyrosulfiittia ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 1,6 g/l. Otsonipesu päätettiin kuten entsyymikäsitteily, kylmällä huuhtelulla ja 80°C rumpukuivauksella. Käsittelyn kulku on esitetty kuvassa 7. Jatkossa näytteisiin 2 ja 4 viitataan otsonipestynä farkkuna ja taskupussina. [32]



Kuva 7. Yhdistetty esikutistus, entsymaattinen kivipesu ja otsonipesu.[32]

3.3 Koejärjestelyt

Kuva 8 esittelee koesuunnitelman, jonka perusteella mittauksen suorittiin farkkunäytteille. Suunnitelman mukaiset käsittelyt ja testaukset tehtiin käsittelemättömälle, entsyymipestyle ja otsonipestyle farkulle. Käsittelemättömälle farkulle tehtiin värin ja vetolujuuden mittaus, neliömassan määrittäminen sekä kuvaus pyyhkäiselektronimikroskooppilla (SEM, eng. Scanning Electron Microscope).

Käsittelemätön farkku viimeistelykäsiteltiin luvun 3.2 prosessien mukaisesti jonka jälkeen molemmille käsitellyille farkuille suoritettiin värin, hankauskestävyyden ja vetolujuuden mittaus. Mittausten jälkeen suoritettiin viisi pesusykliä, joiden jälkeen farkuille toistettiin värin ja hankauskestävyyden mittaukset. Toisen viiden pesusyklin jälkeen farkuista otettiin SEM-kuvat, määritettiin neliömassa ja suoritettiin viimeiset värin, hankauskestävyyden ja vetolujuuden mittaukset.

Taskupussit viimeistelykäsiteltiin samoilla luvussa 3.2 esitellyillä menetelmillä. Taskupusseille suoritettiin samat pesusykliä kuin farkuillekin. Mittauksista toteutettiin värinmittaus ennen viimeistelykäsittelyä, niiden jälkeen ja kunkin viiden pesusyklin jälkeen. Taskupussien koesuunnitelma on esitetty kuvassa 9.



Kuva 8. Koesuunnitelma farkuille



Kuva 9. Koesuunnitelma taskupusseille

3.4 Pesu

Testauksessa näytteet pestiin standardin SFS-EN ISO 6330 mukaisesti. Kokonaiskuivamassa oli toistoissa 2013 g. Täytepyykkinä käytettiin polyesteriä, jonka koostumus ja ominaisuudet on listattu Taulukko 1.

Taulukko 1. Täytepyykin koostumus ja ominaisuudet.[33]

	Täytepyykki III-tyyppi
	100% polyesteri
Kankaan tyyppi	polyesterineulekangas teksturoitu
Kankaan massa	(310±20) g/m ²
Kappaleen koko	[20*(20±4)] cm
Kappaleen massa	(50±5) g
Kutistuminen (loimi ja kude)	±5 %
Viimeistys	Pesu, ei pintakäsittelyä tai tärkkäystä
Kerros	4
Ompelu	saumattu yhteen joka reunalta ja tressattu kulmista

Testipesuaineena käytettiin tyyppin 3 fosfaatitonta, jauhemaista pesuainetta jossa ei ole optisia kirkasteita. Testipesuainetta annosteltiin koneen annostelulokeroon (20 ±1) g. Testipesuaineen koostumus on esitetty Taulukko 2. Pesuaine on kolmena erillisenä komponenttina, peruspulverina, natriumperboraattitetrahydraattina ja valkaisuaktivaattorina toimivasta tetra-asetyylietyleenidiamiinista joista annos sekoitettiin kuivana ennen kutakin pesua.

Taulukko 2. *Testipesuaine 3 - ECE-testipesuaine 98, jossa ei ole optisia kirkasteita.[33]*

Koostumus	Testipesuaine 3 (%)
Lineaarinen natriumalkyylibentseenisulfonaatti (alkaani- ketiun keskipituus C ₁₁₋₅)	7,5 (±0,5)
Etoksyloitu rasva-alkoholi C ₁₂₋₁₈ (7EO)	4,0 (±0,3)
Natriumsaippua (ketjun pituus C ₁₂₋₁₇ 46%:C ₁₈₋₂₀ 54%)	2,8 (±0,2)
Vaahdonestoaine (DC-42485)	5,0 (±0,3)
Natriumalusilikaatti (zeoliitti 4 A)	25,0 (±1,0)
Natriumkarbonaatti	9,1 (±1,0)
Natriumsuola akryyli- ja maleiinihapon kopolymeeri	4,0 (±0,2)
Natriumsilikaatti (SiO ₂ :Na ₂ O=3,3:1)	2,6 (±0,2)
Karboksimetyyliselluloosa (CMC)	1,0 (±0,1)
Dietyleenitriamiinipenta (metyleenifosforihappo)	0,6
Natriumsulfaatti	6,0 (±0,5)
Vesi	9,4
Natriumperboraattitetrahydraatti (erillinen lisäaine)	20
Tetra-asetyylietyleenidiamiini (TAED) (100-prosentti- sesti aktiivinen) (erillinen lisäaine)	3
Yhteensä	100

Pesussa käytettiin konetyyppeä A: edestä täytettävä vaaka-akselinen rumpupesukone Electrolux Wascator FOM71 MP-Lab. Pesuohjelmanä käytettiin normaalia ohjelmaa, jossa rumpu pyörii 12 sekuntia ja on 3 sekuntia paikallaan. Veden syöttölämpötila oli (20±5) °C.

Pesuohjelmanä toimi 4 N jonka 40 °C normaalipesuohjelmassa on neljä huuhtelusykliä. Ohjelmaan kuuluu vain yksi linkous neljännen huuhtelun lopuksi. Taulukko 3 kuvaa pesuohjelman kulkua.[33]

Taulukko 3. *A-tyyppin testipesukoneen pesuohjelma 4N. [33]*

Ohjelman tunnus		4 N	
Käyntirytmi		normaali	
Vesipesu	Lämpötila °C	a	40±3
	Vesiraja mm	bc	100
	Pesuaika min	d	15
	Jäähdytys	f	ei
Huuhtelut 1-3	Vesiraja mm	bc	130
	Huuhteluaika min	dg	3
Huuhtelu 4	Vesiraja mm	bc	130
	Huuhteluaika min	dg	2
	Linkousaika min	d	5
a Pesulämpötila viittaa lämmityksen irtikytketymislämpötilaan b Vesiraja mitataan vesitilan pohjasta katsoen, kun kone on käynyt 1 min ja seisonut 30 s. c A1-tyyppin koneilla käytetään tilavuusmittausta paremman tarkkuuden vuoksi. d Asetusrajoissa sallitaan ±20 s toleranssi. f Jäähdytys: rumpu täyttyy kylmällä vedellä 130 mm tasoon ja liikkuu 2 minuutin ajan. g Huuhteluaika lasketaan siitä, kun vesiraja on saavutettu.			

Kuivaustavaksi valittiin rumpukuivaus. Pyykkiä kuivattiin 34 minuutin kuivausohjelmalla 70 °C:ssä jonka jälkeen pyykkiä jäähdytettiin rummussa 5 minuutin ajan. Kuivausohjelman pituus oli ennalta määritetty halutun jäännöskosteuden eli normaali-ilmas-
tointiolosuhteiden saavuttamiseksi.

3.5 Värinmittaus

Näytteiden väri määritettiin spektrofotometrillä näkyvän valon aallonpituuksilla 400-700 nm. Minolta CM1000R -laitteen valonlähde oli D65 ja mittauskulma 10°. Väriero ΔE^* laskettiin kaavalla

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

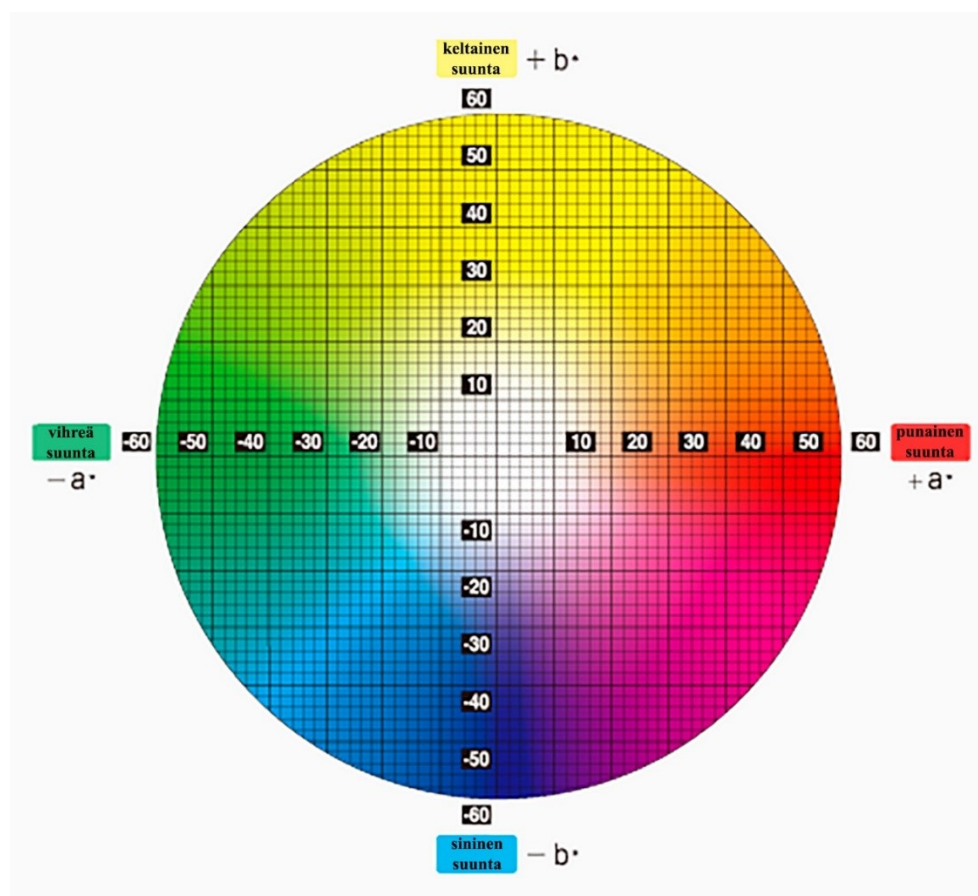
jossa L^* on valoisuus, a^* kromaattisen asteikon puna-viherarvo ja b^* kelta-siniarvo. Tulokset saatiin kolmen mittauksen keskiarvona. Mittaukset suoritettiin käsittelemättömille kankaille sekä kullekin näytteelle ennen pesuja, viiden pesusyklin ja kymmenen pesusyklin jälkeen.

Farkkunäytteiden väri mitattiin vain niiden oikealta puolelta. Kudevaltainen nurja puoli on enimmäkseen värjäämätöntä kuitua jonka vuoksi värierot näytteiden välillä eivät ole

yhtä huomattavat. Taskupussin palttinalle ei voida määrittää oikeaa puolta ja sen voidaan olettaa värjäytyneen tasaisesti.

3.5.1 CIELAB -väriavaruus

CIELAB-väriavaruus on käänteisväriavaruus jolla on kolme akselia: L^* valoisuus, a^* punainen-vihreä ja b^* sininen-keltainen. L^* saa arvoja 0,0-100,0 jossa 0,0 on käytännössä läpäisemätön musta ja 100,0 valkoinen. a^* ja b^* saavat positiivisia tai negatiivisia arvoja sävystä riippuen.



*Kuva 10. $L^*a^*b^*$ -värinmäärittelyjärjestelmän kromaattisuusdiagrammi [34]*

Kuva 10 selkeyttää kromaattista asteikkoa. Mittauksen numeerinen arvo kertoo sävyn lisäksi sävyn kylläisyydestä. Molemmat arvot, a^* ja b^* sisältävät oman akselinsa värikylläisyyden jonka vuoksi värin kokonaiskylläisyyttä ei voida päätellä yksin kummastakaan arvosta.

ΔE^* saadaan tässä väriavaruudessa ilmaistua yhdellä numeerisella arvolla. Se ei kuitenkaan kerro millä tavoin värit eroavat toisistaan vaan ainoastaan eron suuruuden. Värieron tarkastelu edelleen vaatii yksittäisten komponenttien tarkastelua. [35]

3.5.2 Värin saanto K/S

Näytteiden värin saanto K/S laskettiin Kubelka-Munk -yhtälöstä maksimiabsorption aallonpituuden (λ_{max}) reflektanssilla R . K on näytteen pinnan absorptio ja S sirontakerroin.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

Yhtälö ilmaisee värin jakautumisen kankaan pinnassa ja soveltuu käytettäväksi läpinäky-mättömille ja vähän heijastaville materiaaleille. Yhtälö soveltuu huonosti pinnoitetuille kankaille, joita valo ei läpäise. Sirontakertoimen on havaittu tutkimuksissa riippuvan muun muassa taustasta ja näytteen neliömassasta sekä käytetyn valonlähteen asettelusta ja yhtälöä pidetään paikoin epätarkkana. Työn näytteiden välisen värin saannon vertailuun tarkkuus on riittävä.

3.6 Pyyhkäisyelektronimikroskopia

Näytteet kuvattiin Philips XL-30 pyyhkäisyelektronimikroskoopilla ennen käsittelyä ja kymmenen pesusyklin jälkeen kuitujen pintarakenteen muutosten tarkastelemiseksi. Näytteet kiinnitettiin pidikkeisiin hiiliteipillä. Näytteet pinnoitettiin metallilla sähkönjoh-tavuuden aikaansaamiseksi. Pinnoitus suoritettiin elektronisädehöyrystimellä ja metallina käytettiin kultaa.

SEM-kuvat otettiin kiihdytysjännitteellä 15 kV ja spottikoolla 4,2 suurennuksilla 12x-6000x. Tuloksissa esitetty vertailu on otettu suurennoksella 3000x.

3.7 Hankauskestävyys

Farkun hankauskestävyys määritettiin standardin SFS-EN ISO 105-X12:2016 mukaisesti kuivana ja märkänä loimen suuntaisesti standardiolosuhteissa. Märkätestauksessa puuvil-laisiin hankausliinoiniin imeytettiin 100 massa-% ionivaihdettua vettä. Hankaukseen käy-tettiin halkaisijaltaan 16 mm metallista sylinteriä. Testikankaan huomattavan jouston vuoksi näyte kiinnitettiin alustaan kauttaaltaan hankauksen ajaksi. [36]

Kullekin näytteelle suoritettiin kolme mittausta, joiden hankausliinat kuivattiin ja arvos-teltiin standardin ISO 105-A03 mukaisella harmaa -asteikolla kahden arvostelijan toi-mesta. Tässä vaiheessa arvosteltiin vain tahriutumisen, koska värin muutos määritettiin spektrofotometrillä. Silmämääräinen arvostelu suoritettiin standardin SFS-EN ISO 105-A01 mukaisessa keinovalaistuksessa. [[37];[38]]

3.8 Vetolujuus

Farkun vetolujuus määritettiin standardin SFS-EN ISO 13934-1 mukaisella vetolaitteistolla jossa toinen leuka on kiinteä ja toinen liikkuu vakionopeudella koko testin ajan. Liuskatesti suoritettiin 2-5 loimen suuntaiselle $50 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ levyiselle koepalalle jotka ilmastoitiin ja testattiin vakio-olosuhteissa.

Testiparametrit valittiin kankaan ominaisuuksien mukaan. Kankaiden neliömassat $366,82 \text{ g/m}^2$ ja $376,24 \text{ g/m}^2$ sijoittuivat esijännitystaulukon välille yli 200 g/m^2 ja alle 500 g/m^2 . Tämän perusteella esijännitykseksi valittiin 5 N. Vaikka kuitusisällöstä 2 % on elastaania, venyvyyden arvioitiin aiempien kokemusten perusteella olevan alle standardissa venyvän kankaan määritelmän 75%. Testausnopeudeksi valittiin samoin perustein 100 mm/min .
[39]

4. MITTAUSTULOKSET

Värinmittaus spektrofotometrillä oli ainoa mittaus, joka suoritettiin kaikille näytteille. L^* , a^* ja b^* -arvoista määritettiin edelleen värierot viimeistelykäsiteltyihin näytteisiin nähden ja laskettiin värin saanto K/S. Mittauksen tulokset ja vertailuarvot on esitetty ensimmäisenä alaluvussa 4.1. Farkkunäytteiden kuiva- ja märkähankauksen hankausliinat arvosteltiin ja arvostelut ovat nähtävissä alaluvussa 4.2. Näytteiden neliömassat laskettiin ennen vetolujuuden mittaamista esijännityksen määrittelemiseksi. Neliömassat on esitetty alaluvussa 4.3 ja vetolujuuden mittaustulokset alaluvussa 4.4.

4.1 Värinmittaus

Laitteen mittaustuloksissa ΔE^* on ilmaista näytteen värierona kalibroinnissa käytettyyn valkoiseen. Tässä työssä väriero on laskettu suhteessa esikäsiteltyyn näytteeseen. Värin saanto K/S laskettiin kullekin näytteelle maksimiabsorption aallonpituudella. Aallonpituudet vaihtelivat välillä 640-660 nm.

Taulukko 4 on otsoni- ja entsyymipestyjen farkkujen värinmittausarvot L^* , a^* ja b^* , väriero ΔE^* ja värin saanto K/S. Väriero on laskettu pesemättömiin, viimeistelykäsiteltyihin näytteisiin verrattuna. Taulukko 5 esittää samat arvot taskupusseille.

Taulukko 4. Farkkukankaan kolorimetriset arvot, väriero ja värin saanto K/S

	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	K/S
Otsonipesty farkku 0 pesua	20,36	0,04	-13,93	-	25,19
Otsonipesty farkku 5 pesua	20,03	-0,24	-13,37	0,71	26,33
Otsonipesty farkku 10 pesua	21,93	-0,51	-13,77	1,67	22,82
Entsyymipesty farkku 0 pesua	16,85	0,80	-13,10	-	32,12
Entsyymipesty farkku 5 pesua	19,06	-0,12	-13,20	2,40	28,59
Entsyymipesty farkku 10 pesua	22,22	-0,60	-13,82	5,60	22,38

Taulukko 5. Taskupussin kolorimetriset arvot, väriero ja värin saanto K/S

	L*	a*	b*	ΔE^*	K/S
Otsonipesty taskupussi 0 pesua	51,29	-0,70	-17,15	-	2,69
Otsonipesty taskupussi 5 pesua	56,01	-0,32	-14,05	5,66	1,73
Otsonipesty taskupussi 10 pesua	61,94	-0,41	-15,28	10,81	1,21
Entsyymipesty taskupussi 0 pesua	44,12	-0,73	-17,85	-	4,53
Entsyymipesty taskupussi 5 pesua	54,76	-0,34	-13,66	11,44	1,87
Entsyymipesty taskupussi 10 pesua	61,83	-0,73	-13,93	18,14	1,19

4.2 Hankauskestävyys

Taulukko 6 on kuivan farkun hankausliinujen tahriutumisen arvostelut harmaa -asteikolla. Märkätestauksen arvostelut ovat Taulukko 7. Arvosteluasteikossa 1-5 on käytössä kokonaiset ja puolikkaat arvosanat 1/2, 2/3, 3/4 ja 4/5. Arvostelut on tasatilanteessa pyöristetty ylöspäin.

Taulukko 6. Farkkukankaan hankauskestävyys kuivana (5=hyvä, 1=heikko)

	Arvostelija 1			Arvostelija 2			keskiarvo
Entsyymipesty farkku 0 pesua	4	4	4	3	3	3	3/4
Entsyymipesty farkku 5 pesua	4/5	5	4/5	4	4/5	4	4
Entsyymipesty farkku 10 pesua	5	5	5	4/5	4/5	4/5	5
Otsonipesty farkku 0 pesua	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4	4	4
Otsonipesty farkku 5 pesua	5	5	5	4/5	4/5	4/5	5
Otsonipesty farkku 10 pesua	5	5	5	4/5	4/5	4/5	5

Taulukko 7. Farkkukankaan hankauskestävyys märkänä (5=hyvä, 1=heikko).

	Arvostelija 1			Arvostelija 2			kes- kiarvo
Entsyymipesty farkku 0 pesua	1	1	1	1	1	1	1
Entsyymipesty farkku 5 pesua	2/3	2/3	2/3	2	2	2	2/3
Entsyymipesty farkku 10 pesua	3/4	3/4	3/4	2/3	2/3	2/3	3
Otsonipesty farkku 0 pesua	2	2	2	1/2	1/2	1/2	2
Otsonipesty farkku 5 pesua	3/4	3/4	3/4	2/3	2/3	2/3	3
Otsonipesty farkku 10 pesua	3/4	3/4	3/4	2/3	2/3	2/3	3

4.3 Neliömassa

Neliömassa määritettiin näyttemateriaalin rajoitetun määrän vuoksi standardin ISO 3801:1977 suosituksen sijaan kolmen 50 cm² näytteen perusteella. Vakio-olosuhteisiin ilmastoitu kangas punnittiin 0,0001g tarkkuudella.

Taulukko 8. Farkkukankaan neliömassan määrittäminen

	Entsyymipesty farkkukangas	Otsonipesty farkkukangas
Näyte 1	1,8669 g	1,8989 g
Näyte 2	1,8522 g	1,8825 g
Näyte 3	1,7832 g	1,8622 g
Keskiarvo	1,8341 g	1,8812 g
Neliömassa	366,82 g/m²	376,24 g/m²

4.4 Vetolujuus

Taulukko 9 on esitetty käsittelemättömän farkun, esikäsiteltyjen näytteiden sekä 10 sykliä pestyjen näytteiden murtovoima ja murtovenymä. Mittausten vaihteluväli on annettu sulkeissa.

Taulukko 9. *Farkkukankaan murtovoima ja murtovenymä*

	Murtovoima (N)	Murtovenymä (%)
Käsittelemättömän farkku	1720 (47,8)	22,4 (0,50)
Entsyymipesty farkku 0 pesua	1763 (119,6)	29,2 (0,73)
Entsyymipesty farkku 10 pesua	1207 (185,6)	27,9 (1,26)
Otsonipesty farkku 0 pesua	1677 (43,1)	29,0 (0,84)
Otsonipesty farkku 10 pesua	1264 (352,1)	28,8 (2,69)

5. TULOSTEN KÄSITTELY JA TULKINTA

Työssä tutkittiin kaupallisesti saatavilla olevan farkkukankaan pesunkestävyyttä. Varsinaiset pesutestaukset suoritettiin entsyymi- ja otsonipestyille näytteille jotka viimeistelykäsiteltiin M.A.S.I companyn tuotantolaitoksessa. Mittauksia tehtiin sekä käsittelemättömälle farkulle, että viimeistelykäsitellyille näytteille. Farkun lisäksi värinmittaus suoritettiin viimeistelykäsitellyille taskupusseille. Alaluvussa 5.1 tulkitaan värinmittaustulosten lisäksi datasta muodostettuja kuvaajia sekä kuvamateriaalia. Alaluvussa 5.2 tarkastellaan hankauskestävyyttä arvostelun lisäksi myös kuvamateriaalin kautta. Neliömassan mittaustulokset käsitellään alaluvussa 5.3 ja luku 5.4 paneutuu vetolujuusmittausten tuloksiin. Viimeisenä luvussa 5.5 tarkastellaan näytteiden SEM-kuvia.

5.1 Värinmittaus

Esikäsitelyissä havaittiin, että farkun valoisuus L^* laski entsyymattisen kivipesun aikana. Tämä johtuu huuhtelussa irronneiden väripartikkelien takaisinkiinnittymisestä. Puuvillan pinnan varaus pienenee happamissa olosuhteissa joka muuttaa negatiivisesti varautuneiden indigopartikkelien kiinnittyvyyttä puuvillaan. Irtopartikkelit kiinnittyvät pintaan adsorboituviin entsyymeihin. Happaman sellulaasin havaittiin myös pienentävän partikkelikokoja, joka edisti uudelleenkiinnittymistä. [40][41][32]

Indigoa hajosi otsonipesussa tehokkaasti isatiiniksi ja antraliinihapoksi jonka seurauksena L^* palasi lähelle käsittelemättömän farkun valoisuutta. Koska näytteen värjäämiseen oli käytetty indigon ja rikkivärin yhdistelmää ja otsonin on havaittu hajottavan tehokkaimmin aromaattisten yhdisteiden välisiä hiilisidoksia, palautuminen ei ollut täydellinen. Lähtötilanteessa esikäsiteltyjen näytteiden valoisuuksien ero ΔL^* eli otsonikäsitelyn vaikutuksen suuruus oli 3,51. [32]

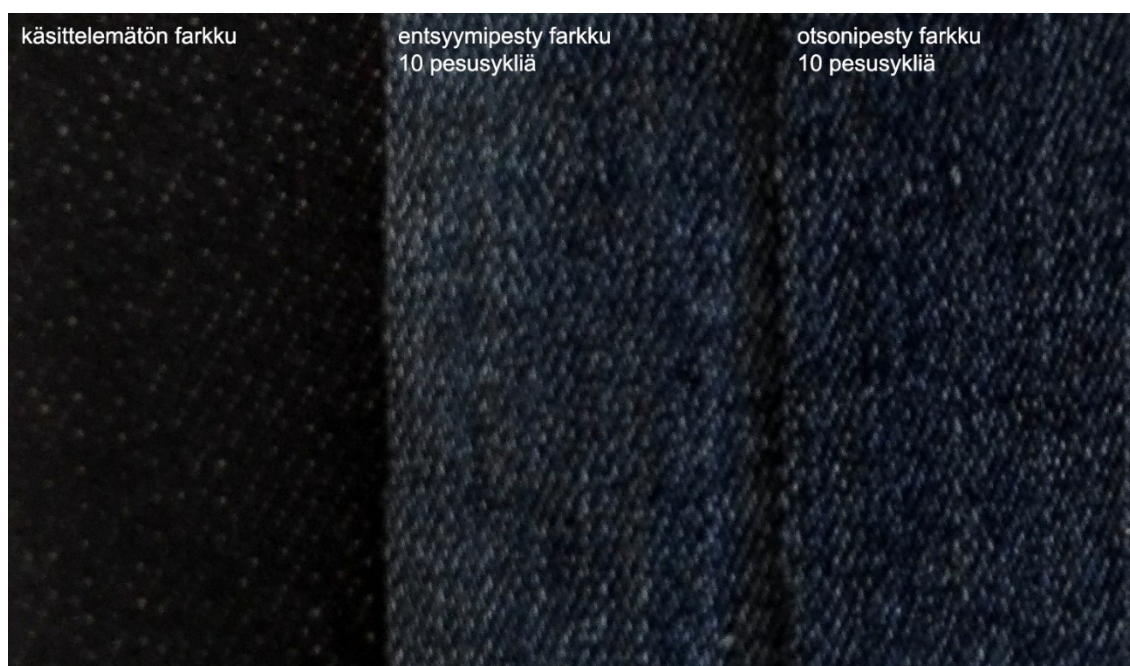
Otsonipestyn farkun valoisuuden muutos pesusyklien aikana ei ollut merkittävä. Sen sijaan entsyymipestyn näytteen valoisuuden muutos 5,37 oli likimain yhtä suuri otsonikäsitelyn ja otsonipestyn näytteen pesusyklien aikaisen muutoksen yhteisvaikutuksen 5,08 kanssa. Ilman otsonipesua entsyymipestyn farkun väri muuttuu ensimmäisissä kotipesuissa.

Tulokset vahvistavat muun muassa Andreausin, Camposin, Cavalo-Paulon ja Gübitzin havainnot siitä, että varsinkin tässä tutkimuksessa käytetyt happamien olosuhteiden entsyymit aiheuttavat takaisinvärjäytymistä. Niiden valkaisuteho on voimakkaampi kuin neutraaleilla entsyymeillä jonka vuoksi värimolekyylejä vapautuu veteen enemmän. [41] Hmida ja Ladhari totesivat otsonin valkaisevan indigovärjättyä farkkua. He havaitsivat tehon olevan parhaimmillaan farkun kosteuden ollessa 40-60% jolloin kuidut turpoavat

ja altistavat mahdollisimman suuren pinta-alan otsonille. Selluloosan kastuminen kiihdyttää hapettumista. Myös värjäämätön kude altistuu samalle vaikutukselle joka selittää otsonin takaisinvärjäytymistä korjaavaa vaikutusta. [20]

Väriä mitatessa havaittiin, että kokonaismuutoksesta suurin osa oli valoisuuden muutosta. Sinisen komponentin $-b^*$ muutos Δb^* entsyymaattisen kivipesun aikana oli 3,34. Liisterin poisto kirkasti farkun sinistä sävyä. Punainen-vihreä -akselin komponentti a^* ei muuttunut merkittävästi esikäsittelyjen aikana. Vaikka otsonikäsittely vaikutti värin valoisuuteen, sillä ei ollut merkittävää vaikutusta sävyyn. [32]

Näytteiden sävy pysyi lähes ennallaan myös pesusykliden aikana. Taulukko 4 listatuista värieroista ΔE^* ainoat merkittävät erot ovat otsonikäsitellyn farkun valoisuuden muutoksen aiheuttamat. Muutos oli likimain yhtä suuri kunkin viiden pesusyklin aikana, joiden jälkeen valoisuus oli verrattain yhtenevä otsonipestyn farkun kanssa. Koska otsonipestyn farkun valoisuus muuttui vain hieman testauksissa, voidaan olettaa, että kymmenen pesusyklin jälkeen myös entsyymipesty farkku valoisuuden arvolla $L^*=22,22$ on saavuttanut pisteen, jossa suurin osa takaisinkiinnittyneestä väristä on huuhtoutunut pois. Merkityksettömäksi kaventuneen värieron näytteiden välillä voi havaita myös kuvan 11 vertailusta.



Kuva 11. Käsittlemättömän farkun vertailu entsyymi- ja otsonipestyihin näytteisiin 10 pesusyklin jälkeen

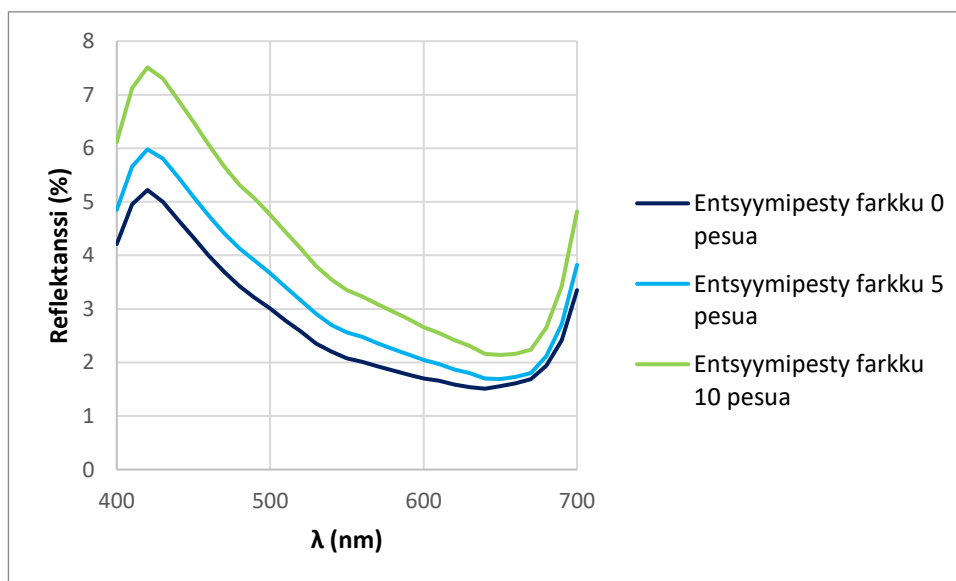
Alun perin valkoisten taskupussien värjäytyminen entsyymaattisen kivipesun aikana oli huomattava. Väriero syntyi sekä valoisuuden muutoksesta, että varsinkin sinisen komponentin muutoksesta. Entsyymaattisen kivipesun aiheuttama väriero ΔE^* oli 23,95. Otsonipesu lisäsi hieman taskupussien valoisuutta. Valoisuuden muutos ΔL^* oli 7,17 ja värieron kokonaissuuruus ΔE^* 7,86.

Kymmenen pesusyklin aikana entsyymipestyn taskupussin valoisuuden muutos ΔL^* oli 17,71 ja otsonipestyn 10,65. Kuten farkkujenkin, entsyymipestyn taskupussin väri jatkoi muuttumistaan otsonipestyä huomattavammin vielä pesujen aikana. Muutoksen suuruus oli liki yhtä suuri kuin otsonipesun ja otsonipestyn taskupussin värin muutos pesusyklien aikana. Kaventunut väriero havaitaan myös kuvassa 12.

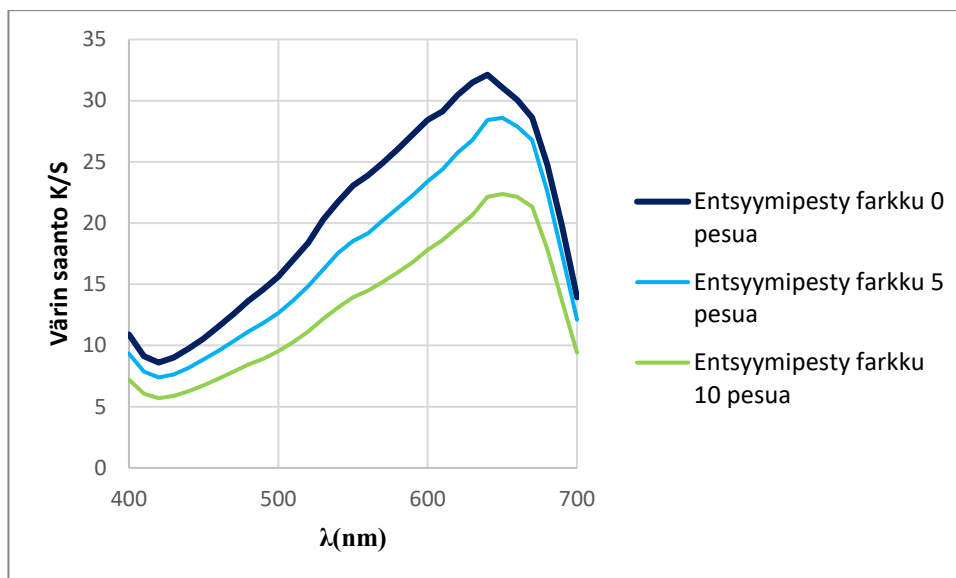


Kuva 12. Entsyymi- ja otsonipesty taskupussi 10 pesusyklin jälkeen

Värieroja voidaan tarkastella edelleen kiinnittämällä huomiota värinmittauksen reflektanssiarvoihin ja värin saantoon. Kuva 13 esittää entsyymipestyn farkkun reflektanssin (%) mitatuilla aallonpituuksilla 400-700 nm ja kuva 14 värin saannon samalla aallonpituusalueella. Absorptiohuiput sijoittuivat lähelle toisiaan 640-650 nm kohdalle.

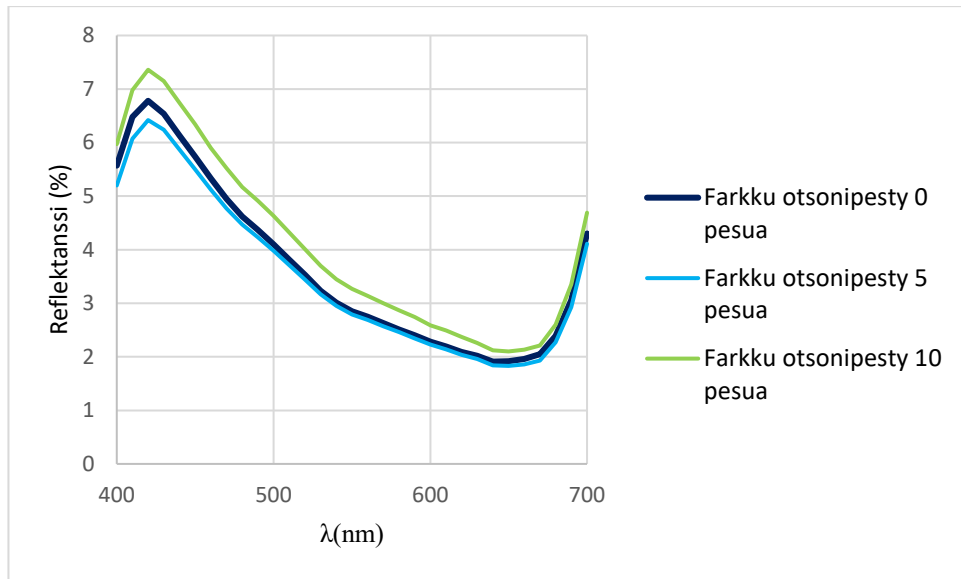


Kuva 13. Entsyymipestyn farkkukankaan reflektanssi

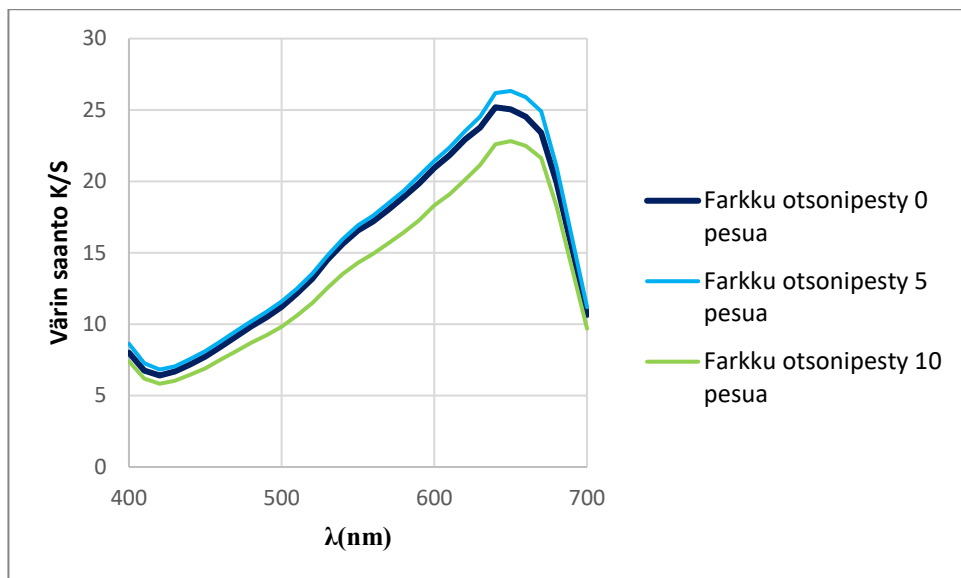


Kuva 14. *Entsyymipestyn farkkukankaan värin saanto K/S*

Kuvassa on esitetty otsonipestyn farkun reflektanssi ja kuvassa 16 värin saanto samalla aallonpituusalueella. Valoisuuden muutoksen merkityksen vähäisyydestä kertoo se, että esikäsitellyn kankaan reflektanssin mittaustulokset ovat korkeammat kuin viiden pesusyklin jälkeen. Tämän suuruusluokan virhe voi johtua yhdestä tai useammasta tekijästä. Mittauslaitteiston kalibrointilevyn naarmuuntumisella voi olla vaikutusta kalibrointiin. Suurempi virheen mahdollisuus on farkkukankaan ja sen käsittelyn luonne. Farkku muodostuu valkoisesta kuteesta ja sinisestä loimesta joiden sävyero ja keskinäinen kontrasti muuttuvat pesuissa ja esikäsitelyissä. Pestyn farkun pinta ei koskaan ole tasasävyinen. Näytteet leikattiin valmiiksi ommelluista farkuista siten, että vältettiin käyttämättä laserkäsiteltyjä osia. On kuitenkin mahdollista, että laserkäsittelyä ei ole onnistuttu täysin välttämään koko näytteen alalta. Värinmäärittäjiä tehtiin kullekin näytteelle kolme ja tulokset laskettiin niiden keskiarvona. Mittauskohdat eivät olleet samoja kullakin mittauskeralla vaan ne valittiin sattumanvaraisesti.

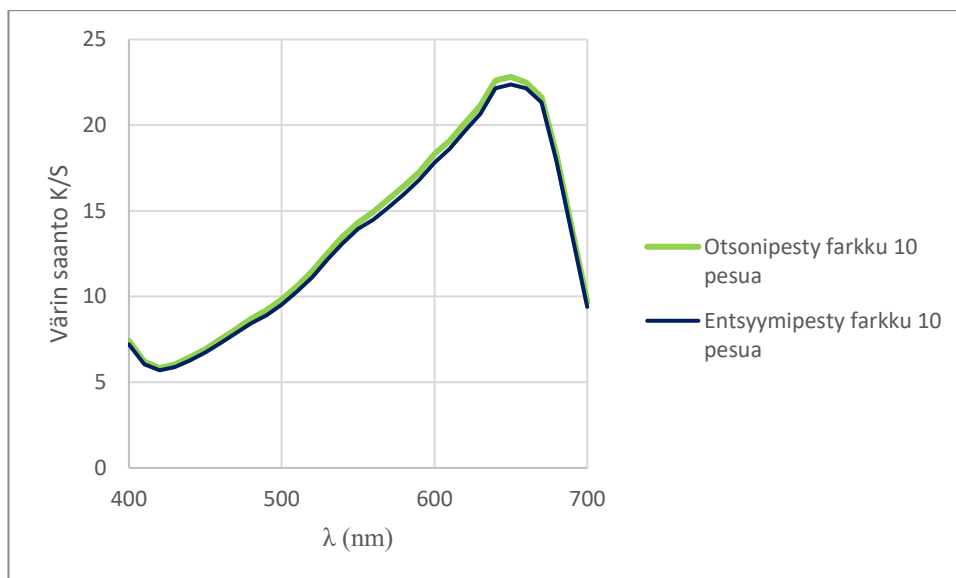


Kuva 15. Otsonipestyn farkkukankaan reflektanssi



Kuva 16. Otsonipestyn farkkukankaan värin saanto K/S

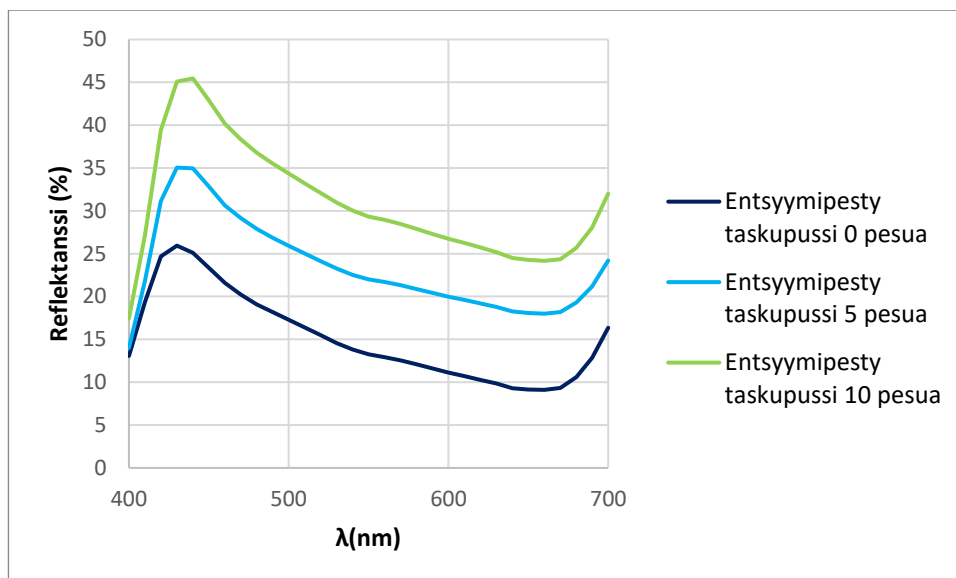
Kuva 17 vahvistaa aiemmat havainnot siitä, kuinka farkkujen värierot tasoittuivat pesusykliden aikana. Se esittää entsyymipestyn ja otsonipestyn farkkun värin saannon kymmenen pesun jälkeen. Kuvaajat asettuvat lähelle toisiaan.



Kuva 17. Otsonipestyn ja entsyymipestyn farkun värin saanto K/S 10 pesun jälkeen

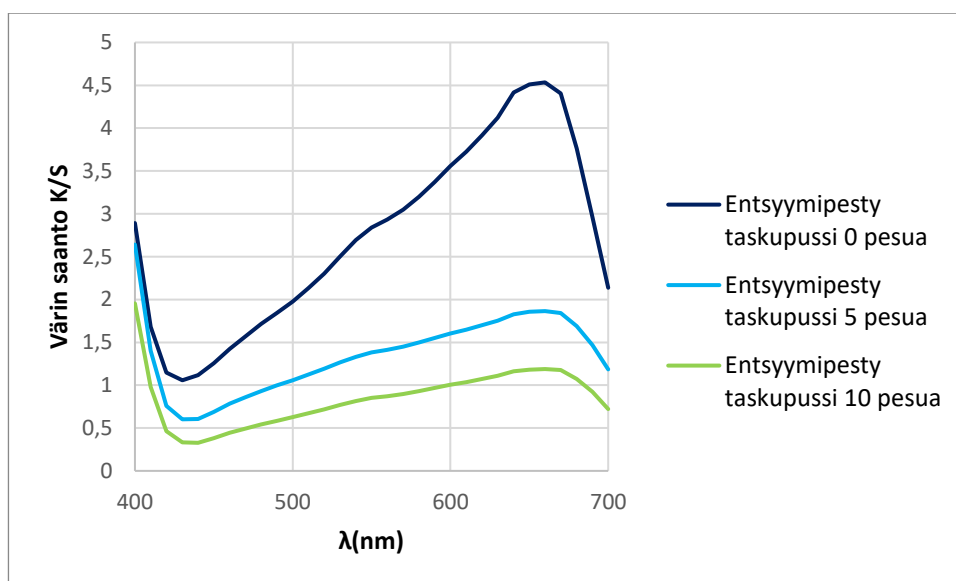
Värinmittaustuloksista pääteltiin, ettei seuraavilla pesukerroilla olisi enää huomattavaa vaikutusta väriin vaan molempien farkkujen muutokset suppenevat jatkossa kohti nollaa. Loppukäyttäjälle tämä tarkoittaa sitä, ettei yksittäisen pesun vaikutus väriin olisi silmin havaittava. Keskimääräinen kuluttaja pesee farkut 2-6 päivän käytön jälkeen, joten ahkerallakin pesulla entsyymipestyt farkut saavuttaisivat otsonipesua vastaavan stabiiliuden aikaisintaan 20 päivän jälkeen.

100 % puuvillainen taskupussi jonka sidos on symmetrinen ja kuitusisältö on homogeeninen, on vähemmän altis poikkeamille, varsinkin kun laserefektit tehdään vain farkkukankaan oikealle puolelle. Taskupussin värissä todennäköisimmät virheet tai poikkeukset olisivat mahdolliset laskokset tai saumojen läheisyys joissa huuhteluvesi ei pääse virtaamaan vapaasti. Taskupussien mittaukset pyrittiin suorittamaan riittävällä etäisyydellä saumoista.



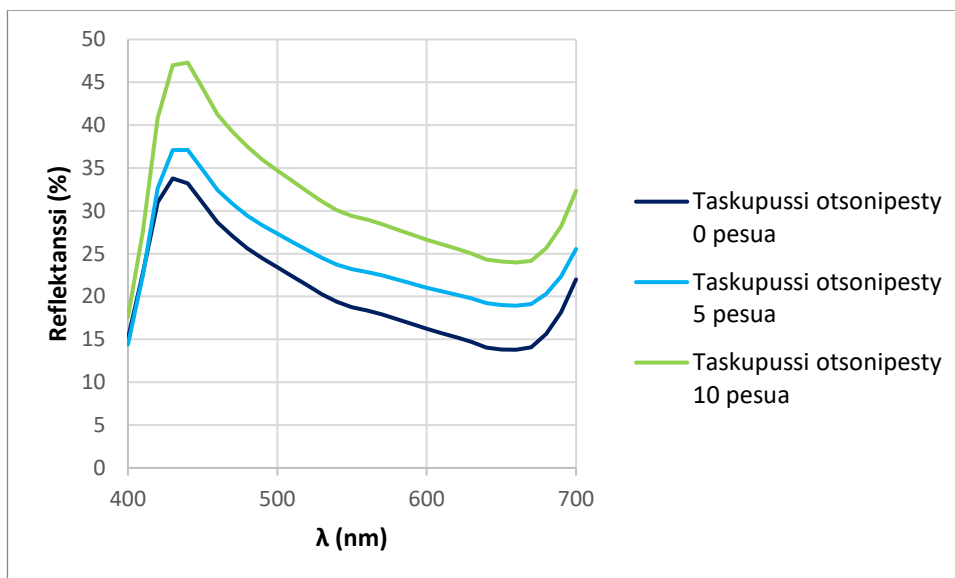
Kuva 18. *Entsyymipestyn taskupussin reflektanssi*

Kuva 18 esittää entsyymipestyn taskupussin reflektanssin aallonpituuksilla 400-700 nm. Maksimiabsorptio saavutettiin kaikilla näytteillä aallonpituudella 660 nm. Kuvan 19 värin saannon kuvaajista voidaan havaita pesusyklien tasoittava vaikutus. Värin saannon arvo on taskupusseilla huomattavasti tummempaa farkkukangasta pienempi. Teoriassa tavoitearvo on liki nolla. Prosentuaalisesti pesuissa saavutetut tulokset ovat merkittäviä.

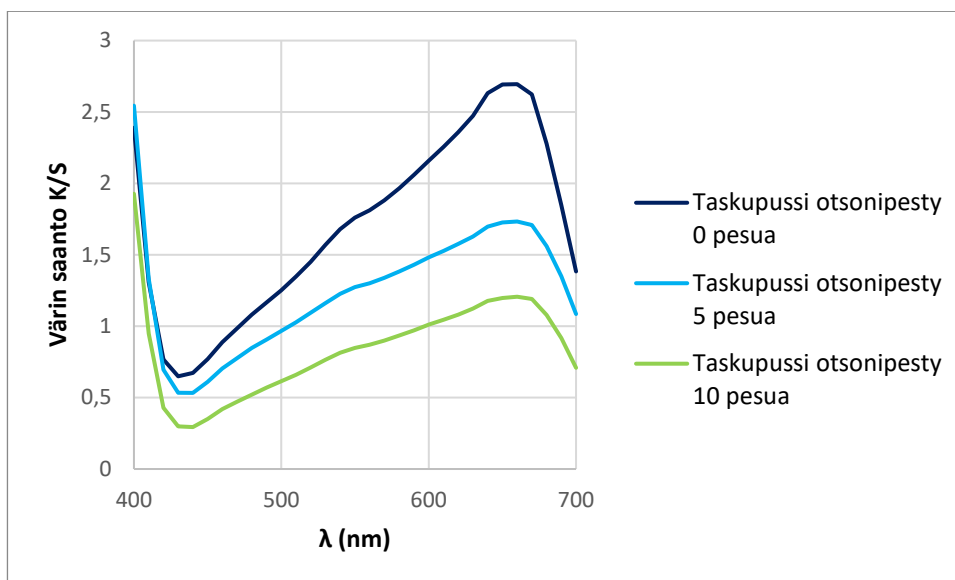


Kuva 19. *Entsyymipestyn taskupussin värin saanto K/S*

Kuten aiemmin tässä luvussa todettiin, otsonikäsittelyn vaikutti taskupussin värin valoisuuteen entsyymaattisen kivipesun jälkeen palauttavasti. Kuvat 20 ja 21 esittävät otsonipestyn taskupussin reflektanssin ja värin saannon aallonpituuksilla 400-700 nm. Siinä missä otsonipestyn farkkukankaan näytteiden kuvaajat kulkivat lähes rinnakkain, taskupussin mittausarvot muuttuivat enemmän vielä pesusyklien aikana.

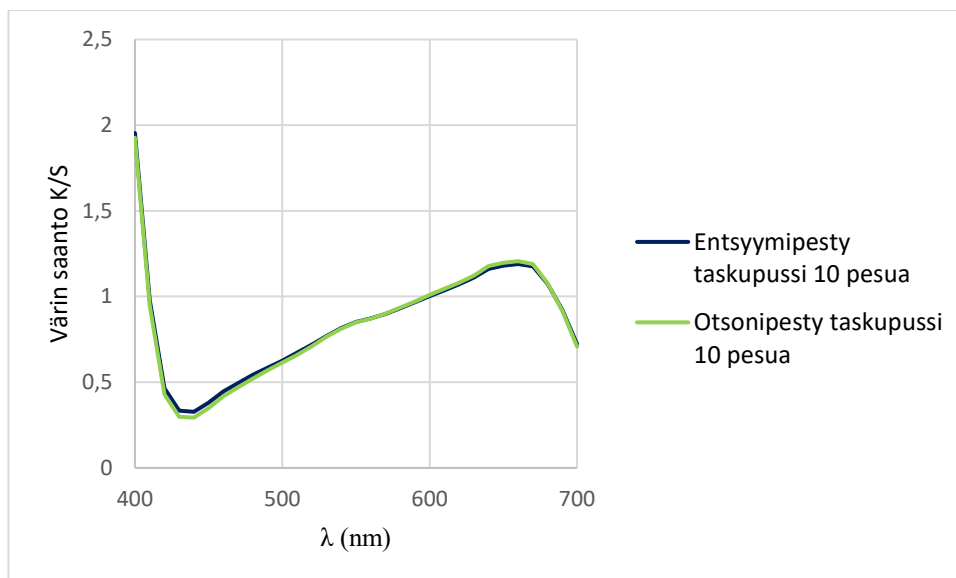


Kuva 20. Otsonipestyn taskupussin reflektanssi



Kuva 21. Otsonipestyn taskupussin värin saanto K/S

Entsyymi- ja otsonipestyjen taskupussien värierot ja värin saanto olivat liki yhtenevät kymmenen pesusyklin jälkeen. Kuvasta 22 havaitaan, että kuvaajat asettuvat lähes päällekkäin. Koska muutokset olivat suurempia ja jakautuivat tasaisemmin kunkin viiden pesusyklin välille, on mahdollista, etteivät taskupussit vielä saavuttaneet tasannetta vaan valoisuus muuttuisi edelleen tulevissa pesuissa.



Kuva 22. Otsonipestyn ja entsyymipestyn taskupussin väriin saanto K/S 10 pesun jälkeen

5.2 Hankauskestävyys

Hankauskestävyyden mittaustulokset noudattelivat toisiinsa verrattuna näytteiden värimittauksen tuloksia. Sekä kuiva- että märkähankauksessa havaittiin entsyymipestyn kanssa tahraavan enemmän kuin otsonipestyn esikäsittelyn ja viiden pesusyklin jälkeen. Kymmenen pesusyklin jälkeen erot tasoittuivat.

Kuiva- ja märkähankauksen erot olivat huomattavat kaikissa näytteissä. Kuivahankauksessa hankausliinaan kiinnittyy mekaanisen kulutuksen irrottamaa värjäytynyttä kuituainesta ja jonkin verran pinnasta irtoavia värimolekyylejä. Indigo on suuripartikkelisena hiiliyhdisteenä altis irtoamaan rakenteesta kulutuksen alaisena mutta vaikutus ei ole märkähankaukseen verrattuna merkittävä.

Indigo on tunnettu heikosta märkähankauksen kestosta. On mahdollista, että käsittelemättömän farkun märkähankaustulos olisi ollut yli arvosteluasteikon, mikäli se olisi testattu. Kyypivärit eivät muodosta pysyvää sidosta kuituainekseen jonka vuoksi mikä tahansa emulgaattori, tässä tapauksessa vesi, liuottaa väriä. Veteen dispergoitunut väri uudelleen kiinnittyy helposti käsittelemättömään hankausliinaan.

Hmidan ja Ladhari suorittivat kuiva- ja märkähankaustestaukset otsonipestylle farkulle eri otsonikonsentraatioilla. Heidän arvionsa märkähankauksesta olivat 1-2 arvosanaa parempia verrattuna tähän tutkimukseen. Ero kuiva- ja märkähankauksen välillä oli kuitenkin huomattava ja vahvisti veden vaikuttavan farkun tahraavuuteen. [20]

Märkähankausnäytteissä pyrittiin minimoimaan pillingin ja täysin irtonaisen värjäytyneen kuituaineksen vaikutus. Irtoaines harjattiin varovasti pois näytteiden kuivuttua ennen arvostelua. Liitteessä G on esitetty entsyymipestyn farkun märkähankaustestausten näytteet ennen pesuja, viiden pesusyklin ja kymmenen pesusyklin jälkeen. Liite I esittelee otsonipestyn farkun märkähankaustestausten näytteet.

Entsyymipestyn farkun kuivahankaustestausten näytteet ovat kuvattuina liitteessä F ja otsonipestyn farkun näytteet liitteessä H. Molemmat näytteet saavuttivat kuivahankauksessa arvosanan 1 molemmilta arvostelijoilta. Entsyymipesty näyte saavutti pisteen vasta 10 pesusyklin jälkeen, kun otsonipesty näyte sai arvosanan jo viiden pesusyklin jälkeen.

Tulokset erosivat systemaattisesti siten, että ensimmäisen arvostelijan arvosanat antoivat hankauksenkestävyydelle paremman tuloksen lukuun ottamatta entsyymipestyn kankaan märkähankausta ennen pesusyklejä, jonka todellinen arvosana oli joko annettu 5 tai yli asteikon. Arvostelun subjektiivisuuden vuoksi testauksessa käytetään useampia katsojia. Tässä tapauksessa arvosanat pyöristettiin tarvittaessa kirjoittajan suuntaan.

5.3 Neliömassa

Neliömassat määritettiin käsittelemättömälle farkulle sekä entsyymi- ja otsonipestyille farkuille kymmenen pesusyklin jälkeen. Kummastakin farkusta leikattiin viisi näytettä punnittavaksi mutta tulokset laskettiin vain kolmen näytteen perusteella. Materiaalin niukkuuden vuoksi hylätyissä näytteissä nähtiin selkeästi tuotteille tehdyn laserkäsittelyn vaikutus näytteen massaun. Yksi entsyymipestyn farkun näytteistä eroaa massaltaan linjasta ja on mahdollista, että mikäli näytteet olisi voitu leikata vapaammin entsyymipestyn ja otsonipestyn farkun tulosten ero olisi lähempänä toisiaan.

Yllättävää on, että molemmat massat ylittävät käsittelemättömän farkun neliömassan 340 g/m². Puuvillan kutistuminen tuotannossa ja pesuissa voi olla jopa 20 % raakapainosta mutta liisterin poiston, viimeistelykäsittelyjen ja pesusykliden jälkeen irtoainesta ja väriä oletettiin poistuneen enemmän kuin kutistumisen vaikutus olisi.

Dobilaite, Juciene ja Kazlauskaite havaitsivat erilaisia viimeistelykäsittelyjä tutkiessaan, että entsyymipesu kutisti farkkuja sekä loimen että kuteen suuntaan. Heidän tutkimansa farkut kutistuivat loimen suuntaan 2,0-2,3% käsittelysyklistä riippuen ja kuteen suuntaan 4,6 %. Kokonaiskutistuminen oli 6,7 %-7.0%. Vaikka mittaustapa ei ole täysin vertailukelpoinen, tulokset ovat samansuuntaisia. [42]

5.4 Vetolujuus

Murtovoima ja murtovenymä mitattiin materiaalin niukkuuden vuoksi vain loimen suuntaan. Murtovoiman hienoinen kasvu 2,5 % ja murtovenymän muutos 30 % entsyymipestyn kivipesun aikana selittyy liisteröinnin poistumisella. Luvussa 5.5 on esitetty tarkemmin

puuvillakuitujen palautuminen pyöreään profiiliin SEM-kuvien avulla. Myös kankaan elastaanikuidut ovat vapautuneet liisterin luomasta matriisista käsittelyn aikana.

Otsonipesun vaikutus murtolujuuteen oli mittausten mukaan noin 5 % ja murtovenymän muutos alle 1 %. Esimerkiksi perinteisen kivipesun on arvioitu vaikuttavan testatunkaltaiseen puuvilla-elastaanisekoitteeseen vähintään 10 %. Tuloksista kuitenkin havaitaan, että otsonipestyn farkun murtolujuus laski kymmenen pesusyklin aikana 25 % ja entsyymipestyn farkun murtolujuus heikkeni 32%. Koska ensimmäisten pesujen on todettu aiheuttavan suurimmat muutokset, voidaan päätellä, ettei otsonin vaikutus murtolujuuteen ole merkittävä, vaan farkku on läpikäynyt otsonipesun aikana muutokset, jotka olisivat ilman käsittelyä tapahtuneet ensimmäisten pesusykliden aikana. [43]

Hmidan ja Ladharin tulokset tukevat otsonin vaikutusten merkityksettömyyttä. He mittasivat otsonipesun vaikutusta farkkuihin, joista oli poistettu liisteri ennen otsonipesua. Otsonin vaikutus murtolujuuteen kasvoi konsentraation ja altistusajan kasvaessa mutta heikkenemisen suuruusluokan arvioitiin olevan pienempi kuin auringon, lämpötilan, kosteuden ja mikro-organismien vaikutukset. [20]

Koejärjestelyihin valittiin kuivaustavaksi rumpukuivaus. Sen todettiin soveltuvan materiaalille, vaikka elastaanilla on suurempi lämpöherkkyys kuin pääkuidulla puuvillalla. Elastaanin on todettu kestävän puuvillan kaupallisesti yleisimpiä pesu- ja kuivaussuosituksia ainakin pienillä (< 8%) kuituosuuksilla. [43] Tämän työn puitteissa ei voida kuitenkaan arvioida kuinka suuri osa murtolujuuden alenemasta on kuivaustavan aiheuttamaa.

Duru Baykal ja Karazincir entsyymipesivät kuitusisällöltään vastaavan farkun ja kuivasivat näytteen teollisuusrummussa. He havaitsivat vetolujuuden heikentyneen kuteen suuntaan 26,8 %. Kuteen suuntaan käsittelyn vaikutus oli 40,7 %. Tulos on linjassa mittausten kanssa ja tukee ensimmäisen pesun vaikutuksen suuruutta. [44]

Pienemmän kosteuden ja lyhyemmän käsittelyajan perusteella voidaan arvioida, että kuivauksen vaikutus on pienempi kuin pesun mutta sen suuruutta ei pystytä määrittämään. Jatkossa voitaisiin tehdä vertailututkimus, jossa toinen testisarja ilmaukuivattaisiin.

Suurimman murtovoiman määrittämisen tulokset ja kuvaajat käsittelemättömälle kankaalle ovat nähtävissä liitteessä A, entsyymipestyn farkun viimeistelykäsittelyjen jälkeen liitteessä B ja 10 pesusyklin jälkeen liitteessä C sekä otsonipestyn farkun viimeistelykäsittelyjen jälkeen liitteessä D ja 10 pesusyklin jälkeen liitteessä E. Liitteen E kuvaajasta voidaan havaita yhden otsonipestyn näytteen murtumispisteen olevan epätyypillinen. Mittauspoikkeama ei kuitenkaan täyttänyt leukakatkeamisen määritelmää, joten sen tulos on huomioitu ilmoitetuissa keskiarvoissa.

5.5 Pyyhkäisyelektronimikroskopia

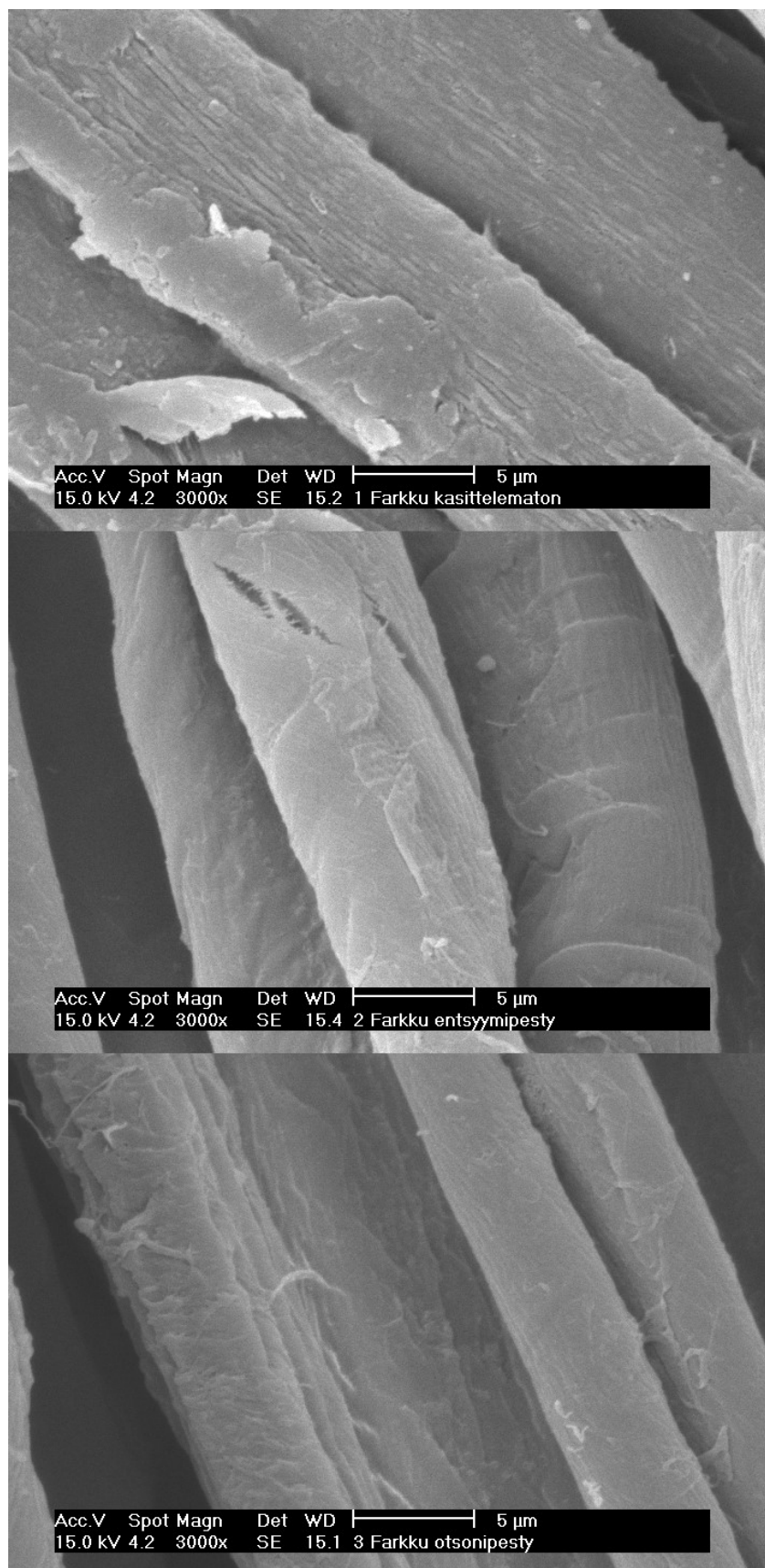
SEM-kuvissa pyrittiin tavoittamaan varsinkin viimeistelykäsittelyjen aiheuttamat kuitujen pinnan muutokset. Perinteisistä kulutuskäsittelyistä varsinkin kivipesu, hiekkapuhallus ja osa kemiallisista käsittelyistä vaurioittavat kankaan pintaa heikentäen samalla lujuusominaisuuksia. Hiilidioksidilaserkäsittelyn on todettu aiheuttavan puuvillakuidun pintaan SEM-kuvissa havaittavaa huokoisuutta. [31]

Näytteitä kuvattiin suurennoksilla 12x-6000x. Kuvan 23 vertailuun on valittu kuva kustakin näytteestä suurennoksella 3000x, jonka todettiin tuovan hyvin esiin kuidun pintarakenteen. Ylimmässä kuvassa nähdään käsittelemätön farkku, keskimmaisessa entsyymipesty ja alimmassa otsonipesty farkku kymmenen pesusyklin jälkeen.

Käsittelemättömän farkun kuvassa voidaan havaita liistauksen ja kudonnan jälkikäsitteilyn aiheuttamaa kuitujen litteyttä. Farkku kalanteroidaan usein kudonnan jälkeen leikkauksen ja ompelun helpottamiseksi. Liistaus suojaa kuituja mekaaniselta kulutukselta valmistuksessa ja lisää varsinkin elastaanisekoitekankaan mittapitävyyttä sitomalla elastaanin kankaaseen.

Entsymaattisessa kivipesussa kuidut ovat palautuneet alkuperäiseen pyöreään profiiliinsa. Elastaanikuidut eivät erotu kuvissa selkeästi mutta murtovenymän mittauksista voidaan päätellä niiden vapautuneen rakenteessa oletetusti. Kuitujen pinnassa on havaittavissa jonkin verran repeämiä mutta ei käsittelemättömästä kankaasta poikkeavia määriä.

Otsonipestyjen kuitujen pinnassa ei ole havaittavissa huokoisuutta, kuitujen fibrilloitumista tai muita pintavikoja. Kuidut ovat yhtä eheitä kuin entsyymaattisesti kivipestytkuidut. Silmämääräisesti tarkasteltuna otsonipesu ei ole aiheuttanut muutoksia jotka vaikuttaisivat kankaan lujuuteen tai pintaominaisuuksiin.



Kuva 23. Käsittelemättömän farkun SEM-vertailu entsyymi- ja otsonipestyihin näytteisiin 10 pesusyklin jälkeen 3000x suurennoksella

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin otsonipestyn farkkukankaan pesunkestoa käytännön pesutestauksen kautta. Pesutestaukset tehtiin otsoni- ja entsyymipestyille farkuille sekä niiden taskupusseille. Mittauksia suoritettiin viimeistelykäsiteltyjen farkkujen lisäksi käsittelemättömälle kankaalle vertailupohjan luomiseksi. Tavoitteena oli selvittää miten otsonipesu vaikuttaa kankaan värinkesto- ja lujuusominaisuuksiin sekä sen vaikutus asiakkaan uuden tuotteen pesukokemuksiin.

Kankaana käytettiin kaupallisesti saatavilla olevaa farkkua M.A.S.I Companyn varastosta jonka kuitusisältö oli 98% puuvillaa/2 % elastaania. Farkku oli värjätty indigon ja rikkinä värin seoksella. Taskupussit olivat valkoista 100 % puuvillapalttinaa. Farkun värjäystavan vuoksi tiedettiin etukäteen, ettei otsonipesun vaikutus farkun väriin tule olemaan yhtä vahva kuin se olisi puhtaasti indigolla värjättyyn farkkuun.

Näytteet kivipestiin entsyymaattisesti M.A.S.I Companyn tuotantolaitoksessa ennen pesutestausta. Tulosten tarkastelussa havaittiin, että entsyymaattinen kivipesu nosti hieman farkun murtolujuutta ja noin 30 prosenttia murtovenymää. SEM-kuvien perusteella pääteltiin tämän johtuvan liisterin poistosta. Kuvien perusteella liisteröinnissä ja kudonnan jälkikäsittelyissä litistyneet kuidut palautuivat entsyymaattisen kivipesun aikana alkuperäiseen pyöreään muotoonsa. Samalla kankaan elastaani vapautui rakenteessa.

Farkkujen valoisuus laski entsyymaattisen kivipesun aikana. Entsyymien irrottamat värimolekyylit takaisin kiinnittyivät kuitujen pinnalle tummentaan farkkujen ja taskupussien sävyjä. Samaan aikaan liisterin poistuminen voimisti hieman sinistä sävyä. Entsyymaattisen kivipesun jälkeen toinen farkuista ja taskupusseista otsonipestiin. Otsonipesun odotettiin korjaavan takaisin värjäytymistä.

Otsonipesu paransi farkun hankauksenkestoa, vaalensi sekä farkun että taskupussin väriä ja heikensi murtolujuutta noin 5 %. Murtolujuuden muutoksen suunta oli odotettavissa. Sen suuruus oli vähäisempi kuin aiemmin käytössä olleiden mekaanisten ja kemiallisten menetelmien vaikutus olisi ollut. Auringonvalon, kosteuden, lämpötilan ja mikro-organismien vaikutuksen voidaan odottaa vaikuttavan lujuuteen enemmän, joten otsonipesua voidaan jatkossakin pitää melko hellävaraisena viimeistelynä.

Otsonipesu vaikutti toivotusti farkkujen ja taskupussien väriin. Farkun valoisuus palasi otsonipesun vaikutuksesta lähelle käsittelemättömän kankaan valoisuutta. Palautuminen ei ollut täydellinen, minkä voidaan arvioida johtuvan osittain farkun värjäystavasta. Myös taskupussien väri vaaleni.

Kun testauksessa edettiin pesusykleihin, havaittiin, että otsonipestyjen ja entsyymipestyjen näytteiden tulokset sekä värin että lujuuden suhteen lähestyivät toisiaan testauksen

edetessä. Kymmenen pesusyklin jälkeen erot olivat kaventuneet merkityksettömiksi. Lisäksi SEM-kuvia tarkastellessa todettiin, että pintarakenteet olivat silmämääräisessä tarkastelussa yhtenevät.

Molempien farkkujen murtolujuus heikkeni merkittävästi pesutestauksen aikana. Otsonipestyn näytteen muutos oli 25 % ja entsyymipestyn 32 % viimeistelykäsitelyihin näytteisiin nähden. Tämän tutkimuksen puitteissa ei voitu arvioida kuinka suuri vaikutus valitulla kuivausmenetelmällä oli lujuuteen. Lisäksi neliömassan määrittämisessä havaittiin, että massa kasvoi testauksen aikana mikä viittaa materiaalin kutistumiseen. Jatkossa voitaisiin tehdä verrokkisarja ilmakehakuivaamalla ja mikäli rumpukuivauksen vaikutus on huomattava, huomioida se pesuohjeissa.

Tuotannon tehostamiselle on jatkuvia paineita ja otsonipesu vaikuttaa lupaavalta menetelmältä tuotantovaiheiden karsintaan. Tämän tutkimus jätti vielä joitakin kysymyksiä avoimiksi. Jatkossa voitaisiin tutkia olisiko entsyymaattinen kivipesu tuotantovaiheena mahdollista jättää kokonaan pois. Yksinkertaisimmin voitaisiin vertailla tämän työn tuloksia farkkuun, jolle tehtäisiin liisterin poisto ja pelkkä otsonipesu. Mikäli tulokset olisivat lupaavia, voitaisiin tutkia edelleen millä vaikutusajalla ja otsonikonsentraatiolla päästäisiin lähimmäksi yhteisvaikutusta. Tuotantolaitoksessa on käytössä myös laserlaitteisto jolla tuotteita jatkokäsittelään. Tässä tutkimuksessa se johti näyttemateriaalin niukuuteen, sillä valmiista housuista pyrittiin valitsemaan testaukseen kappaleet jotka eivät olleet altistuneet laserkäsittelylle. Jatkossa voitaisiin testata myös laserkäsitelty farkku ja arvioida sen vaikutus tuotteen väri- ja lujuusominaisuuksiin kokonaisuuden arvioimiseksi.

Varsinkin värinmittauksen ja hankauksenkeston tuloksista voidaan päätellä, että vaikka otsonipesu ei lyhennä tuotantoketjua yhdessä entsyymaattisen kivipesun kanssa, se voi vaikuttaa myönteisesti asiakkaan ostopäätökseen ja pesukokemuksiin tuotteen elinkaaren alkuvaiheessa. Otsonikäsitellyn farkun väri muuttui entsyymipestyä vähemmän pesutestauksen aikana. Lisäksi parempi hankauksen kesto kuivana ja märkänä vähentää mahdollista tahriutumista. Kymmenen pesusykliä vastaa kotikäytössä noin 20-60 päivän käyttöä. Asiakkaan ensimmäiset pesukokemukset ovat kriittisiä. Otsonikäsitely lisäsi selkeästi värien stabiiliutta, jonka perusteella sen voidaan arvioida pienentävän reklamaatioiden riskiä. Otsonipesun käyttöönottoa tuotantoon voidaan tulosten perusteella suositella.

LÄHTEET

- [1] White, G., Cotton price causes 'panic buying' as nears 150-year high. Verkkosivu. The Telegraph, 2.2.1011. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016.): <http://www.telegraph.co.uk/finance/markets/8301886/Cotton-price-causes-panic-buying-as-nears-150-year-high.html>
- [2] Sugarcane fibres: Eat it or Knit it! Verkkosivu. Fibre2Fashion.com. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/7048/sugarcane-fibres>
- [3] Forrest Old. Will it Blend? The Most Common and Uncommon Denim Compositions. Verkkosivu. Heddels.com, 11.1.1015. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://www.heddels.com/2015/01/will-blend-common-uncommon-denim-compositions/>
- [4] Bryant, A., Know Your Twills – 3×1, 2×1, and Plain Weave. Verkkosivu, Heddels.com, 26.8.2014. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://www.heddels.com/2014/08/know-twills-3x1-2x1-plain-weave/>
- [5] Wolf, L., What's That Stuff? Blue Jeans. Verkkosivu. Chemical & Engineering News, 24.10.2011. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <https://pubs.acs.org/cen/science/89/8943sci3.html>
- [6] Biermann, T.W.; Grieve, M.C.; Schaub, K., The use of indigo derivatives to dye denim material. Science & Justice 46(2006), pp. 15 – 24.
- [7] Ganesh Prasad, J., A Novel Anti Back Staining Method for Denim Garments: A Cost-effective Process. Verkkosivu, Fibre2Fashion.com. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/3414/a-novel-anti-back-staining-method-for-denim-garments-a-cost-effective-process>
- [8] Daimon, K.; Uyama, N., Redeposition or backstain inhibition during stonewashing process. Pat. US 6797010 B2. Novozymes A/S, Bagsvaerd, Denmark. Hak.nro US 09/924,379, 8.8.2001 (28.9.2004), 12 p.
- [9] Sariisik, M.; Tarhan, M., A Comparison Among Performance Characteristics of Various Denim Fading Processes, Textile Research Journal 79(2009)4, SAGE Publications, pp. 301–309.
- [10] Kurschner, L.M; Tieckelmann, R.H., Process to remove manganese dioxide from wet process denim fibers by neutralizing with peracetic acid. Pat. US 5205835 A.

Fmc Corporation, Philadelphia, PA. Hak. nro US 07/651,811, 7.4.1991 (27.4.1993), 10 p.

- [11] Bleaching with Peroxides. Verkkosivu, TextileLearner. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://textilelearner.blogspot.fi/2012/03/bleaching-with-peroxides-bleaching.html>
- [12] Winkler, F., Jeans bleaching – advantages and risks of different bleaching processes. Verkkosivu. Science and Technology Blog, StepChange Innovations GmbH, 11.7.2013. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://blog.stepchange-innovations.com/2013/07/jeans-bleaching-advantages-and-risks-of-different-bleaching-processes-23/>
- [13] Bull, R.A.; Kurschner, L.M; Tieckelmann, R.H., Wet processing of denim. Pat.US5006124 A. Fmc Corporation, Philadelphia, PA. Hak. nro US 07/451,067, 15.12.1989 (9.4.1991) 8 p.
- [14] Heikinheimo, L., VTT Publications 483: Trichoderma reesei cellulases in processing of cotton, Espoo, VTT, 110 p.
- [15] Chilukoti, G.R.; Periyasamy, A.P.; Thavasiappan, K., Dry finishing: Enhancing value of denim, Indian Textile Journal 122(2012)5, pp. 40
- [16] Linnainmaa, M.; Oikarinen, H.; Oksa, P; Sauni, R., KVARTSIPÖLY – edelleen ajankohtainen ongelma työelämässä, Työterveyslääkäri, 26(2008)2, ss 105-111.
- [17] Silicosis due to denim sandblasting: multidetector CT findings, The New Zealand Medical Journal, 121(2008)1273, pp. 69-71.
- [18] It's Time to Ban Sandblasting. Verkkosivu. Levi Strauss & Co, Unzipped, 9.2010. Saatavissa (Viitattu 25.5.2016): <http://www.levistrauss.com/unzipped-blog/2010/09/its-time-ban-sandblasting/>
- [19] Eren, H.A.; Ozturk, D., The evaluation of ozonation as an environmentally friendly alternative for cotton preparation, Textile Research Journal, 81(2010)5, SAGE Publications, pp. 512-519.
- [20] Hmida, S.B.; Ladhari, N., Study of Parameters Affecting Dry and Wet Ozone Bleaching of Denim Fabric, Ozone: Science & Engineering, 38(2016)3, pp. 175-180.
- [21] Eihemann, L.; Koh, M.; Myung, J.; Park, D., Denim Bleach Using Ozonated Water in Comparison to Conventional Method of Using Potassium Permanganate or Sodium Hypochlorite, Greentech Corp, 9 p. Saatavissa (Viitattu

18.6.2017): http://www.greentech-corp.net/2.0/pdf/tech/Bleach_Down_of_Denim_Analysis.pdf

- [22] Rice, R.G., Century 21 – Pregnant with Ozone. *Ozone: Science & Engineering*, 24(2002)1, pp 1-15.
- [23] Martens, C., *Jeanologia: Seeking a Friendlier Denim Finish*. *Womens Wear Daily*, 9.11.2011, p. II:16.
- [24] Pavarini, M.C., Tonello and Levi's launch stoneless stone wash. *Verkkosivu. Sportswear® International*, 11.11.2015. Saatavissa (Viitattu 31.5.2016): <http://www.sportswear-international.com/news/stories/Tonello-and-Levis-launch-stoneless-stone-wash-10098>
- [25] Cardis, D.; DeBrum M.; Hook, J.; Rice, R.G.; Tapp, C., Economic and Environmental Benefits of Ozone in Ozone Laundering Systems, *Ozone: Science & Engineering*, 31(2009)5, pp. 348-356.
- [26] Paul, R. (edit.), *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*, 1. edition, Cambridge, Woodhead Publishing, p. 412.
- [27] Novel Ozone Treatment to Achieve Vintage-look and pattern for Denim Wear *Verkkosivu. The Hong Kong Research Institute of Textile and Apparel Newsletter* 22(2012). Saatavissa (Viitattu 29.5.2016): http://www.hkrita.com/newsletter/issue22/tech_feat.htm
- [28] Nayar, R.; Padhye R., The use of laser in garment manufacturing: an overview, *Fashion and Textiles: International Journal of Interdisciplinary Research*, 3(2016)5.
- [29] Khalil, E., Sustainable and Ecological Finishing Technology for Denim Jeans. *Verkkosivu, AASCIT Communications* 2(2015)5. Saatavissa (Viitattu 29.5.2016): <http://www.aascit.org/communications/archive?journalId=940&issueId=9400205>
- [30] ISO 3801:1977, *Textiles - Woven fabrics - Determination of mass per unit length and mass per unit area*, Geneve, International Organization for Standardization, 4 p.
- [31] Hung, O.N, Chan, C.K., Kan C.W. et. al., An analysis of some physical and chemical properties of CO₂ laser-treated cotton-based fabrics, *Cellulose*, 24(2017), pp.363-381.
- [32] Kamppuri, T., Mahmood, S., M.A.S.I Company, *Finishing of denim fabrics with ozone in water*, *Coloration Technology*, 2017, ehdotettu julkaistavaksi.

- [33] SFS-EN ISO 6330, 2012, Tekstiilit - Tekstiilien testauksessa käytettävät kotipesun ja kuivauksen menetelmät, Helsinki, Suomen standardoimisliitto SFS, 60 s.
- [34] Knowledge of color and light. Verkkosivu, Nippon Denshoku Industries C. LTD, Unzipped 9.2010. Saatavissa (Viitattu 1.5.2017): <https://www.nippondenshoku.co.jp/web/english/knowledge/index.htm>
- [35] Precise Color Communication – Control Color from Perception to Instrumentation, 2003, Konica Minolta Sensing, Inc. 47 p. Saatavissa (Viitattu 10.5.2017): https://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/4_Learning_Centre/C_A/PRECISE_COLOR_COMMUNICATION/pcc_english_13.pdf
- [36] SFS-EN ISO 105-X12:2016, Tekstiilit – Värinkestot - Osa X12: Värien hankauksenkesto, Helsinki, Suomen standardoimisliitto SFS, 8 s.
- [37] ISO 105-A03:1993, Textiles- Tests for colour fastness - Part A03: Grey scale for assessing staining, Geneve, International Organization for Standardization, 2 p.
- [38] SFS-EN ISO 105-A01, Tekstiilit – Värinkestot – Osa A01: Testauksen yleiset periaatteet, Helsinki, Suomen standardoimisliitto SFS, 31 s.
- [39] SFS-EN ISO 13934-1, Tekstiilit – Kankaiden lujuusominaisuudet – Osa 1: Suurimman murtovoiman ja murtovenymän määrittäminen liuskamenetelmällä, Helsinki, Suomen standardoimisliitto SFS, 28 s.
- [40] Andreas, J.; Campos, R.; Cavaco-Paulo, A., Indigo Cellulase Interactions. Textile Research Journal, 70(6)2000, SAGE Publications, pp. 532-536.
- [41] Andreas, J.; Campos, R.; Cavaco-Paulo, A.; Gübitz, Georg., Influence of Cellulases on Indigo Backstaining, Textile Research Journal, 70(7)2000, SAGE Publications, pp. 628-632.
- [42] Dobilaitė, V.; Jucienė, M.; Kazlauskaitė, G., Influence of Industrial Washing on Denim Properties, Materials Science (Medžiagotyra), 12(4)2006, Kaunas University of Technology, Kaunas, pp. 355-359.
- [43] Ankenman, B. E., Easter, E.P., Evaluation of The Care and Performance of Comfort Stretch Knit Fabrics, Aatcc Review, 6(11)2016, American Association of Textile Chemists and Colorists, pp. 28-32. Saatavissa (Viitattu 28.5.2017): [http://users.iems.northwestern.edu/~bea/articles/EVALUATION%20OF%20COMFORT%20STRETCH%20KNIT%20FABRICS%20\(7-18-06\).pdf](http://users.iems.northwestern.edu/~bea/articles/EVALUATION%20OF%20COMFORT%20STRETCH%20KNIT%20FABRICS%20(7-18-06).pdf)

- [44] Duru Baykal, P.; Karazincir, E., Investigation of Washing Processes on Fabric Strenght and Elongation for Selected Denim Fabric, *Textil Ve Mühendis*, 21(94)2014, TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası, Balcali-Ada, pp. 18-30. Saatavissa (Viitattu 11.6.2017): <http://dx.doi.org/10.7216/130075992014219403>

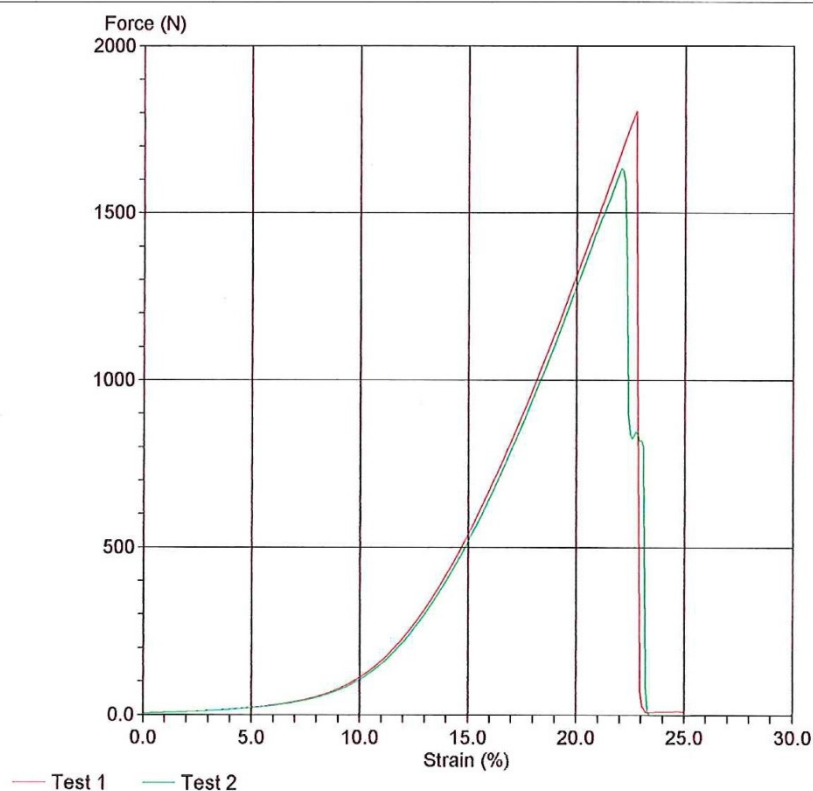
LIITE A: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS KÄSITTELEMÄTÖN FARKKU

Suurimman murtovoiman määrittäminen SFS-EN ISO 13934-1

Työnumero : *untreated*
 Näyte : 11151F
 Käsittely :
 Suunta :
 Anturi :
 Olosuhteet :
 Tekijä :
 Test Name : SFS-EN ISO 13934-1

Test Type : Tensile
 Test Date : 13.6.2016 13:12
 Test Speed : 100.00 mm/min
 Width : 50.000 mm
 Thickness : 1.000 mm
 Pretension : 5.000 N
 Sample Length : 200.000 mm

Test No	Force @ Peak (N)	Strain @ Peak (%)
1	1805.3	22.746
2	1635.3	22.044
Min	1635.3	22.044
Mean	1720.3	22.395
Max	1805.3	22.746
S.D.	120.2	0.496
C. of V.	6.99	2.22
L.C.L.	640.3	17.936
U.C.L.	2800.3	26.854



LIITE B: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS ENTSYMI- PESTY FARKKU 0 PESUA

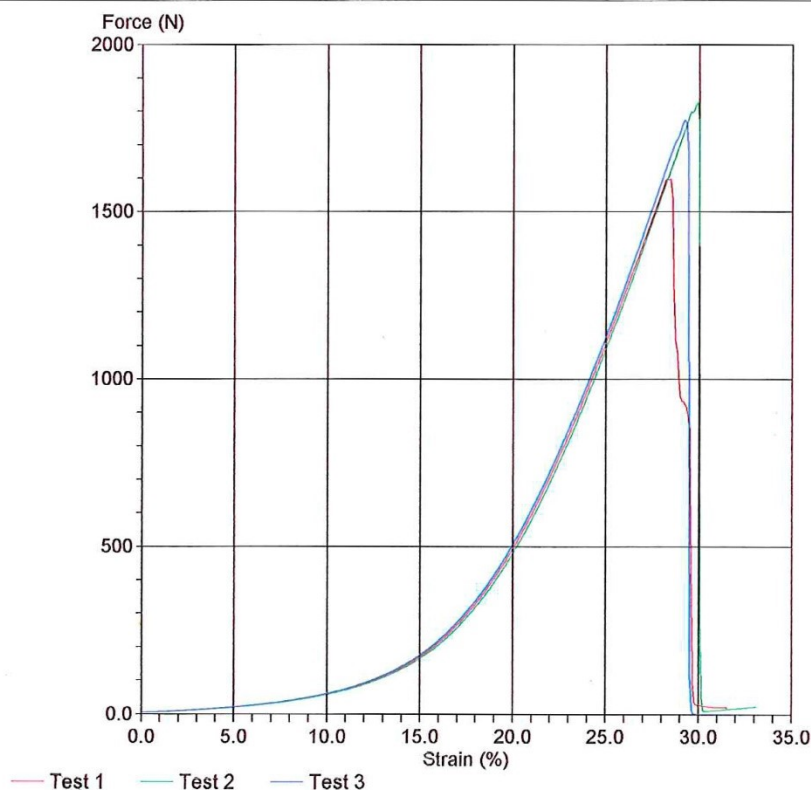
Suurimman murtovoiman määrittäminen SFS-EN ISO 13934-1

Työnumero :
 Näyte : 11151F P305 *enzyme*
 Käsittely : pesulahje-2
 Suunta :
 Anturi :
 Olosuhteet :
 Tekijä :
 Test Name : SFS-EN ISO 13934-1

Test Type : Tensile
 Test Date : 13.6.2016 13:24
 Test Speed : 100.00 mm/min
 Width : 50.000 mm
 Thickness : 1.000 mm
 Pretension : 5.000 N
 Sample Length : 200.000 mm

Test No	Force @ Peak (N)	Strain @ Peak (%)
1	1601.6	28.448
2	1830.2	29.899
3	1777.1	29.231

Min	1601.6	28.448
Mean	1736.3	29.193
Max	1830.2	29.899
S.D.	119.6	0.726
C. of V.	6.89	2.49
L.C.L.	1439.1	27.389
U.C.L.	2033.5	30.996



LIITE C: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS ENTSYIMI- PESTY FARKKU 10 PESUA

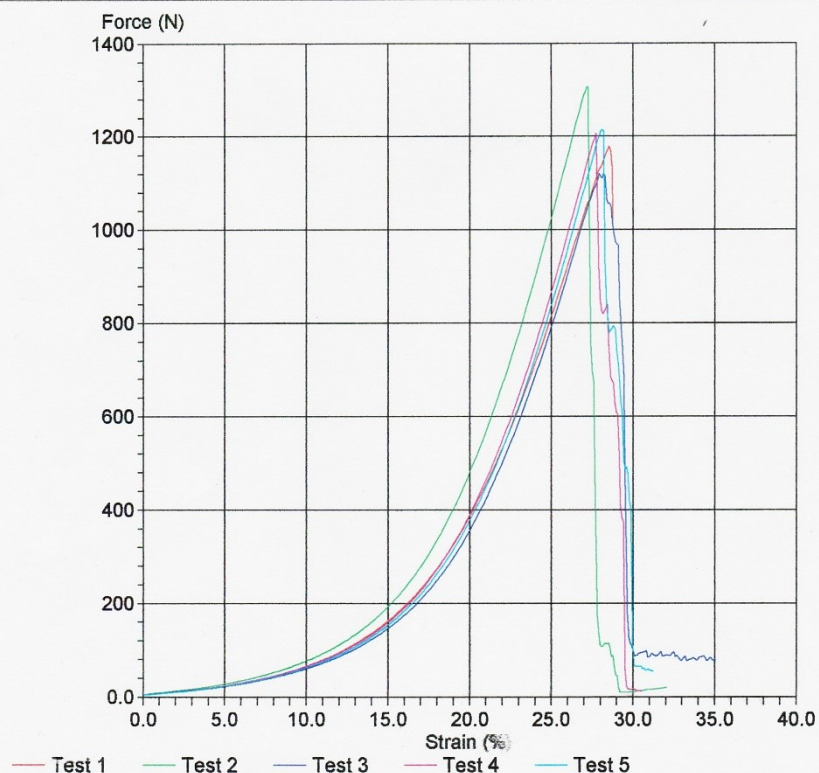
Suurimman murtovoiman määrittäminen SFS-EN ISO 13934-1

Työnumero :
Näyte : 10 pesua
Käsittely : entsyymipesu
Suunta : loimi
Anturi : 2500 N
Olosuhteet : 65% 20°C
Tekijä : Elina Hotti
Test Name : SFS-EN ISO 13934-1

Test Type : Tensile
Test Date : 24.11.2016 8:15
Test Speed : 100.00 mm/min
Width : 50.000 mm
Thickness : 1.000 mm
Pretension : 5.000 N
Sample Length : 200.000 mm

Test No	Force @ Peak (N)	Strain @ Peak (%)
1	1180.0	28.528
2	1307.3	27.238
3	1121.7	27.929
4	1208.7	27.730
5	1216.8	28.096

Min	1121.7	27.238
Mean	1206.9	27.904
Max	1307.3	28.528
S.D.	67.4	0.475
C. of V.	5.58	1.70
L.C.L.	1123.2	27.315
U.C.L.	1290.6	28.494



LIITE D: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS OTSONIPESTY FARKKU 0 PESUA

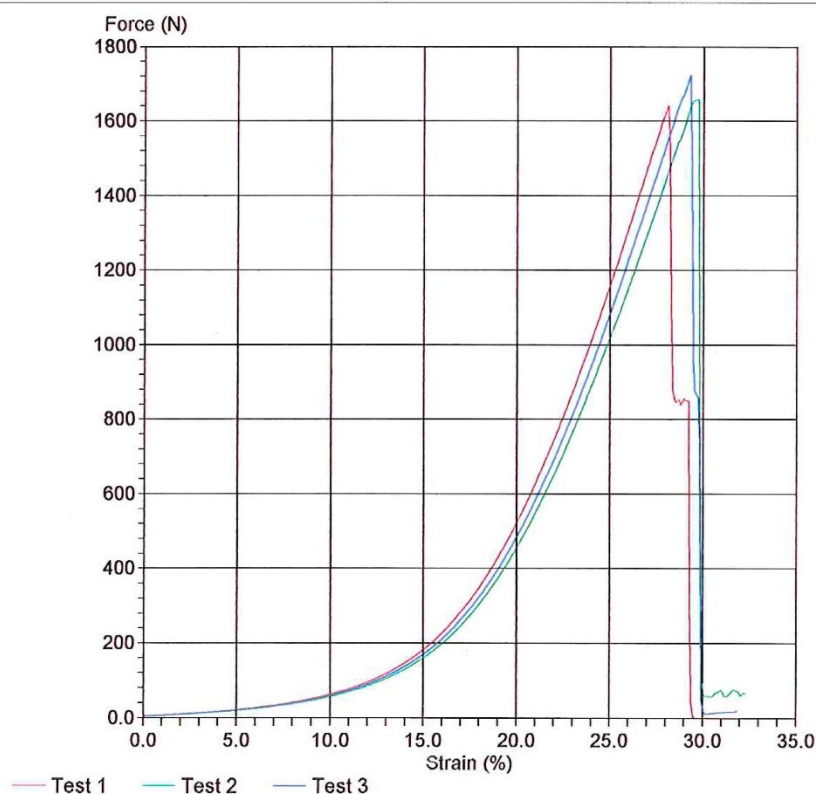
Suurimman murtovoiman määrittäminen SFS-EN ISO 13934-1

Työnumero :
 Näyte : 11151F P305+O 020hC
 Käsittely : pesulahje-1
 Suunta :
 Anturi :
 Olosuhteet :
 Tekijä :
 Test Name : SFS-EN ISO 13934-1

Test Type : Tensile
 Test Date : 13.6.2016 13:33
 Test Speed : 100.00 mm/min
 Width : 50.000 mm
 Thickness : 1.000 mm
 Pretension : 5.000 N
 Sample Length : 200.000 mm

Test No	Force @ Peak (N)	Strain @ Peak (%)
1	1643.5	28.103
2	1660.9	29.718
3	1725.3	29.289

Min	1643.5	28.103
Mean	1676.6	29.037
Max	1725.3	29.718
S.D.	43.1	0.836
C. of V.	2.57	2.88
L.C.L.	1569.5	26.959
U.C.L.	1783.6	31.115



LIITE E: SUURIMMAN MURTOVOIMAN MÄÄRITYS OTSONIPESTY FARKKU 10 PESUA

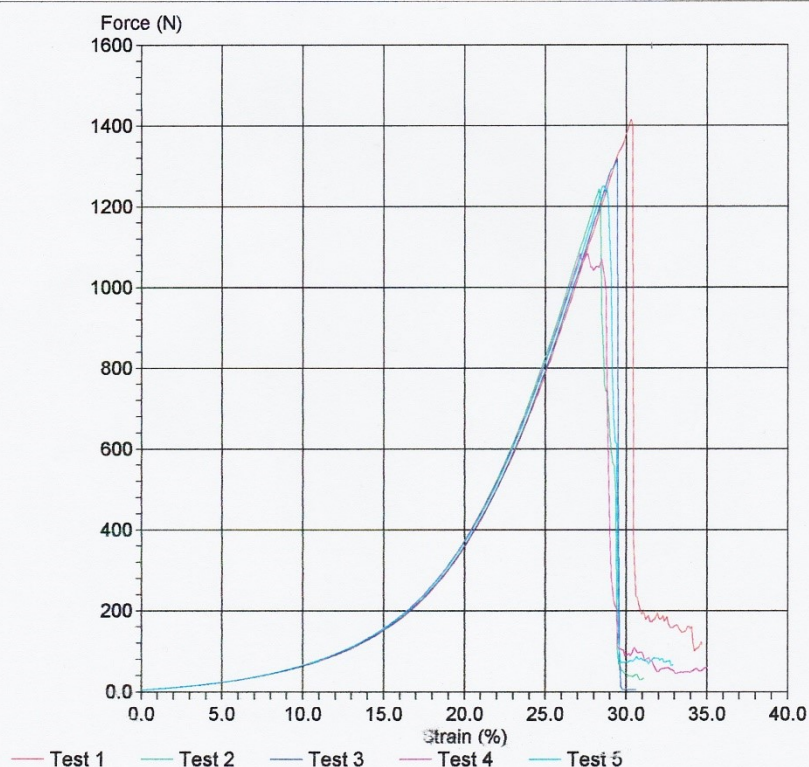
Suurimman murtovoiman määrittäminen SFS-EN ISO 13934-1

Työnumero :
Näyte : 10 pesua
Käsittely : otsonipesu
Suunta : loimi
Anturi : 2500 N
Olosuhteet : 65% 20°C
Tekijä : Elina Hotti
Test Name : SFS-EN ISO 13934-1

Test Type : Tensile
Test Date : 24.11.2016 8:31
Test Speed : 100.00 mm/min
Width : 50.000 mm
Thickness : 1.000 mm
Pretension : 5.000 N
Sample Length : 200.000 mm

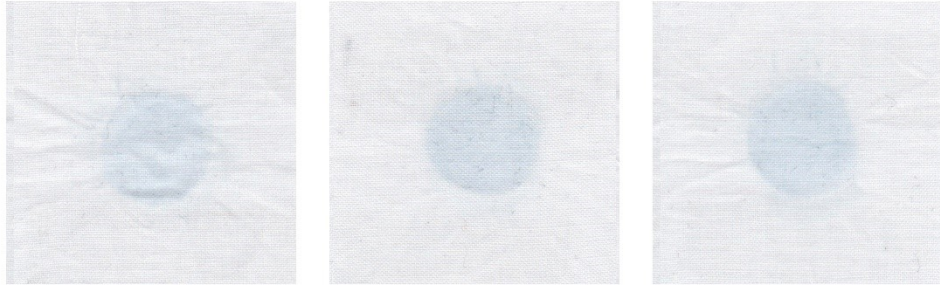
Test No	Force @ Peak (N)	Strain @ Peak (%)
1	1417.0	30.296
2	1243.7	28.293
3	1320.0	29.419
4	1084.9	27.605
5	1252.1	28.604

Min	1084.9	27.605
Mean	1263.5	28.843
Max	1417.0	30.296
S.D.	121.6	1.041
C. of V.	9.63	3.61
L.C.L.	1112.5	27.551
U.C.L.	1414.6	30.136

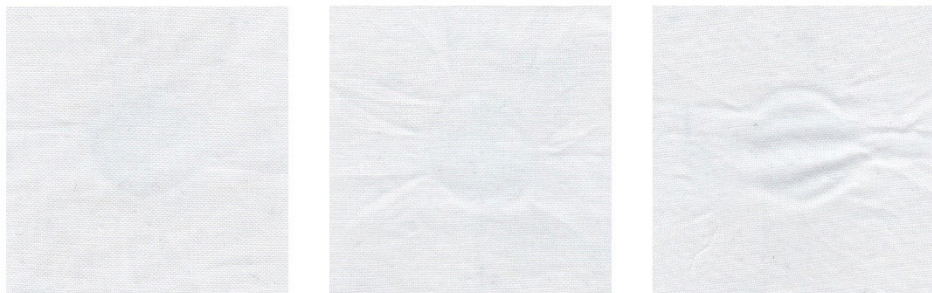


LIITE F: KUIVAHANKAUS ENTSYymiPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

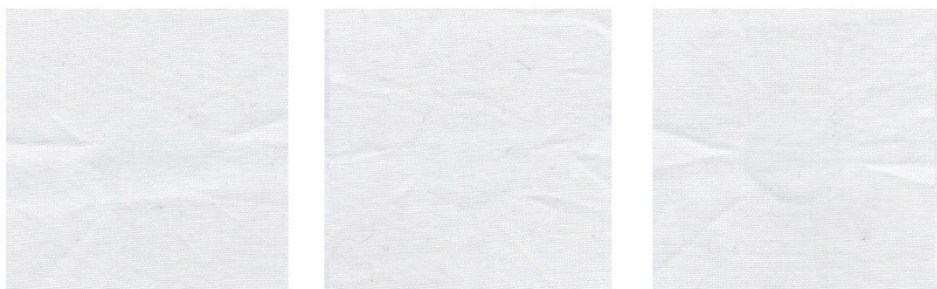
Entsyymipesty farkku 0 pesua kuivahankaus



Entsyymipesty farkku 5 pesua kuivahankaus

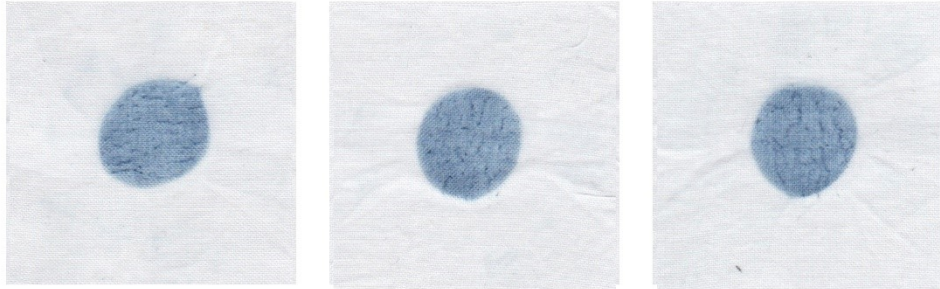


Entsyymipesty farkku 10 pesua kuivahankaus

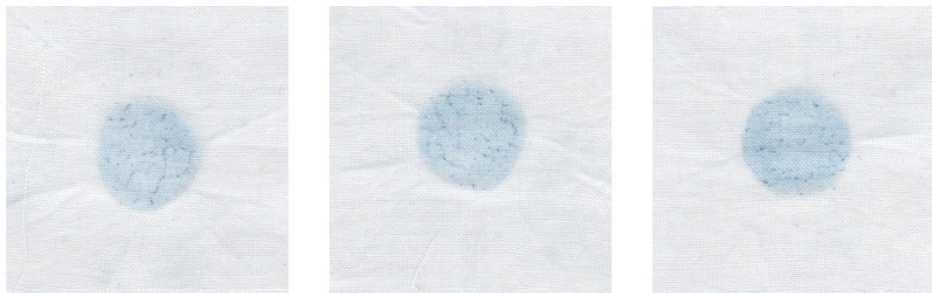


LIITE G: MÄRKÄHANKAUS ENTSYymiPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

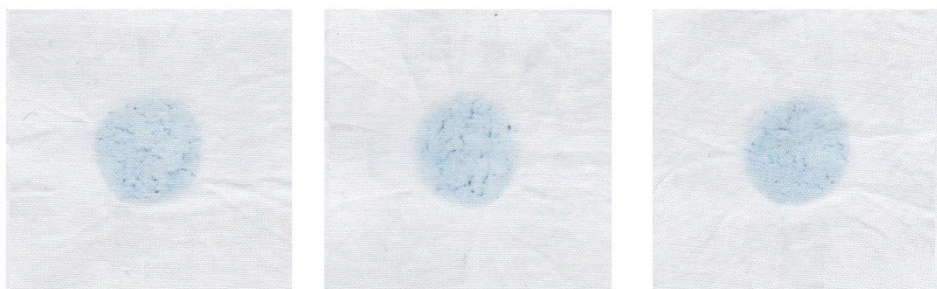
EntsyymiPESTY farkku 0 pesua märkähankaus



EntsyymiPESTY farkku 5 pesua märkähankaus

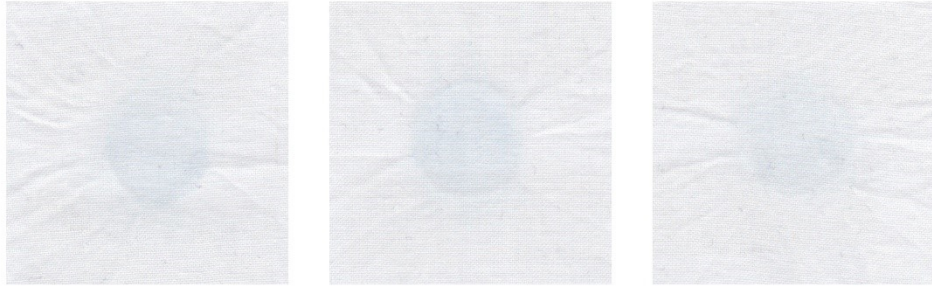


EntsyymiPESTY farkku 10 pesua märkähankaus



LIITE H: KUIVAHANKAUS OTSONIPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

Otsonipesty farkku 0 pesua kuivahankaus



Otsonipesty farkku 5 pesua kuivahankaus

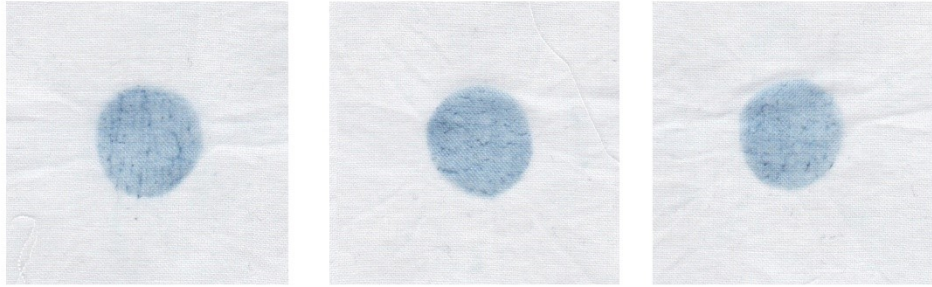


Otsonipesty farkku 10 pesua kuivahankaus

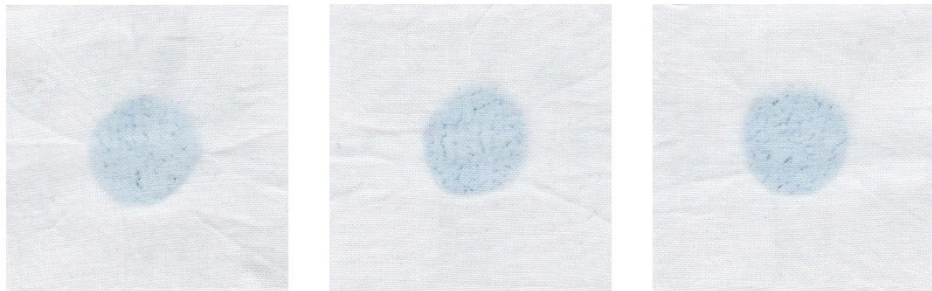


LIITE I: MÄRKÄHANKAUS OTSONIPESTY FARKKU 0, 5 JA 10 PESUA

Otsonipesty farkku 0 pesua märkähankaus



Otsonipesty farkku 5 pesua märkähankaus



Otsonipesty farkku 10 pesua märkähankaus

